

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIÓN
SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN



PROYECTO FINAL DE CARRERA

Propuesta de metodología de diseño de redes inalámbricas
extensas de banda ancha para zonas aisladas en
países en vías de desarrollo

Autora: Beatriz Salguero Hernández
Director: D. Francisco Javier Simó Reigadas
Tutor: D. Jesús Cid Sueiro

Julio de 2009

Índice general

Resumen	XV
1. Introducción	1
1.1. Origen del trabajo	1
1.2. Objetivo del proyecto	2
1.3. Estructura del trabajo	2
2. Contexto	5
2.1. Realidad de las zonas aisladas de países en vías de desarrollo	6
2.2. Estrategia de intervención del programa EHAS	7
3. Metodología de diseño de redes EHAS	11
3.1. Obtención de las coordenadas geográficas de los establecimientos	11
3.2. Arquitectura de la red	12
3.2.1. Determinación de la tecnología para la salida a Internet y a la RTC, el diseño de la red de acceso y la red troncal	12
3.2.1.1. Salida a Internet y a la Red Telefónica Conmutada (RTC)	12
3.2.1.2. Red Troncal y Red de Acceso	15
3.3. Simulación de radioenlaces RF mediante RadioMobile	18
3.3.1. Determinación de las especificaciones radioeléctricas	18
3.3.1.1. Criterios de diseño para enlaces HF y VHF	18
3.3.1.2. Criterios de diseño para enlaces WiFi	19
3.3.2. Determinación del equipamiento dependiendo de la tecnología y del tipo de nodo	19
3.3.2.1. Tecnología HF	20
3.3.2.1.1. Nodo cliente	20
3.3.2.1.2. Nodo pasarela	21
3.3.2.2. Tecnología VHF	21
3.3.2.2.1. Nodo cliente	21
3.3.2.2.2. Nodo pasarela	22
3.3.2.2.3. Repetidor de Voz	23
3.3.2.2.4. Repetidor de Datos	23
3.3.2.3. Tecnología WiFi	23

3.3.2.3.1. Nodo cliente	24
3.3.2.3.2. Nodo pasarela	29
3.3.2.3.3. Nodo troncal	29
3.3.3. Localización y altura de antenas y repetidores	30
3.4. Especificación del sistema de soporte mecánico	30
3.5. Dimensionamiento del sistema de suministro eléctrico	31
3.6. Diseño del sistema de protección eléctrica	33
3.7. Diseño del sistema de puesta a tierra	34
3.8. Redacción del documento técnico con listado de materiales y planos de instalación de los sistemas	34
3.9. Cálculo del presupuesto	34
4. Metodología y Herramientas	37
4.1. Metodología	37
4.1.1. Metodología específica para la realización de un experimento con el fin de asegurar el aislamiento mutuo entre estaciones WiFi con múltiples interfaces radio	37
4.1.1.1. Problemática	37
4.1.1.2. Método	37
4.1.1.2.1. D-ITG	42
4.2. Herramientas	44
4.2.1. Entrevistas con el personal del programa EHAS	44
4.2.2. Consulta de bibliografía y documentación relacionada con la temática	45
4.2.3. RadioMobile	45
4.2.3.1. Modelo de Propagación Longley-Rice	47
4.2.4. Laboratorio de comunicaciones inalámbricas	47
4.2.4.1. Materiales	48
5. Análisis sistemático de las carencias metodológicas	51
5.1. Ausencia de un estudio de viabilidad ex-ante de los proyectos	51
5.1.1. Definición de viabilidad	51
5.1.2. Evaluaciones de un proyecto	52
5.1.2.1. Única evaluación ex-post sobre el Proyecto EHAS-@lis	53
5.1.3. Delimitación de deficiencias	56
5.2. Problemas en la obtención de las coordenadas de los establecimientos de salud	56
5.3. Posibilidad de utilización de tecnologías nuevas para el diseño de la red de acceso y la red troncal	57
5.3.1. 802.16: WiMAX	57
5.3.2. 802.22 WRAN	59
5.4. Incertidumbre en los valores de los parámetros del modelo de propagación	60
5.5. Falta de consideración de la cobertura de la Tierra en el diseño de la red	61
5.6. No consideración de la interferencia mutua entre radios y antenas colocadas en la misma torre	63

5.6.1. Análisis de estudios previos existentes	63
5.6.2. Problema pendiente de resolver	66
5.7. Deficiencia en las tareas de mantenimiento	67
5.8. Necesidad de una mayor capacitación de los usuarios y a un mayor número de técnicos	69
5.9. Falta de una gestión de red apropiada	70
5.9.1. Paso de Zabbix a Nagios/Centreon	73
5.10. Ausencia de uso de un sistema de gestión de incidencias	74
6. Resultados obtenidos	77
6.1. Análisis de viabilidad	78
6.2. Obtención precisa de las coordenadas de los establecimientos de salud	81
6.3. Parámetros del modelo de propagación	81
6.3.1. Refractividad de la superficie, conductividad del suelo y Permitividad relativa al suelo	81
6.3.2. Estudio de los porcentajes idóneos para los distintos parámetros estadísticos del modo de variabilidad	83
6.4. Definición rigurosa del perfil del terreno en RadioMobile	85
6.4.1. Cobertura de la Tierra	90
6.5. Realización de un experimento para estudiar las condiciones necesarias que aseguran el aislamiento mutuo entre estaciones WiFi con múltiples interfaces radio	99
6.5.1. Análisis de los resultados	99
6.5.1.1. Tarjetas CM9	101
6.5.1.1.1. Modo 802.11a	101
6.5.1.1.2. Modo 802.11g	102
6.5.1.1.3. Ambos modos	103
6.5.1.2. Tarjetas SR2	103
6.5.1.2.1. Modo 802.11g	103
6.6. Valoración técnica y económica de las necesidades de mantenimiento y administración de la red tras su instalación	104
6.6.1. ¿Por qué es difícil el mantenimiento en zonas rurales?	106
6.6.2. Requisitos	106
6.6.3. Mantenimiento	107
6.6.3.1. Mantenimiento preventivo	107
6.6.3.1.1. Mantenimiento realizado por los usuarios finales	108
6.6.3.1.2. Mantenimiento realizado por los técnicos	109
6.6.3.2. Mantenimiento Correctivo	110
6.6.3.2.1. Valoración económica del stock inicial	113
6.7. Sistema de gestión de incidencias	115
6.7.1. RT: Request Tracker	118

7. Conclusiones y Líneas Futuras	119
7.1. Conclusiones	119
7.2. Líneas futuras de investigación	120
A. Código de los scripts utilizados en el experimento de interferencia mutua entre radios próximas	123
A.1. Lanzador.sh	123
A.2. Automatizacion.sh	126
A.3. Otras funciones	140
A.3.1. Emisor-Receptor	140
A.3.2. Receptor-Emisor	140
A.3.3. Emisor	140
A.3.4. Receptor	141
A.3.5. Matar	141
B. D-ITG	143
B.1. Arquitectura	143
B.1.1. Protocolo de Especificación de Tráfico: TSP (Traffic Specification Protocol) .	144
B.1.2. Arquitectura del ITGSend	144
B.1.3. Arquitectura del ITGRecv	146
B.1.3.1. La autenticación del ITGRecv	146
B.1.4. El canal de señalización	146
B.1.5. ITGLog	147
B.1.6. ITGManager	147
C. Marco de trabajo de proyectos TIC en países en vías de desarrollo	149
D. Formularios de Mantenimiento	153
D.1. Percepción de los usuarios	154
D.2. Informe del estado de la red	156
D.3. Registro de Actuaciones por Mantenimiento Preventivo	157
D.4. Informe de Averías en Sistemas EHAS	159
D.5. Informe Técnico de Atención de Averías	160
E. RT: Request Tracker	161
E.1. Requisitos para la instalación	161
E.2. Elementos básicos de RT	161
E.3. Modo de uso	162
E.3.1. Crear tickets	162
E.4. Tareas Administrativas	170
E.4.1. Crear/Actualizar Usuarios	170
E.4.2. Crear grupos	171
E.4.3. Crear Colas	172
E.5. Scripts	173

E.5.1. Condiciones	175
E.5.2. Acciones	175
E.5.3. Plantillas	175
E.6. Otras funcionalidades	176

Lista de Figuras

3.1.	<i>Tecnologías de Acceso a Internet.</i>	13
3.2.	<i>Tecnologías utilizadas por EHAS.</i>	16
3.3.	<i>Transceptor radio HF.</i>	20
3.4.	<i>Transceptor radio VHF</i>	22
3.5.	<i>Componentes de un nodo cliente.</i>	25
3.6.	<i>Sistema de Telefonía Analógico.</i>	25
3.7.	<i>Sistemas Empotrados.</i>	27
3.8.	<i>Tarjetas Ubiquiti.</i>	28
3.9.	<i>Tarjeta Mikrotik R52H.</i>	28
3.10.	<i>Colocación de equipos en torres.</i>	30
3.11.	<i>Suministro eléctrico basado en placas solares.</i>	32
3.12.	<i>Pararrayos.</i>	33
3.13.	<i>Sistema de Puesta a Tierra.</i>	34
4.1.	<i>Diseño de los escenarios del experimento de aislamiento mutuo entre interfaces radio.</i>	39
4.2.	<i>Escenario con 3 nodos montado para llevar a cabo el experimento de aislamiento mutuo entre interfaces radio.</i>	40
4.3.	<i>Escenario con 4 nodos montado para llevar a cabo el experimento de aislamiento mutuo entre interfaces radio.</i>	41
4.4.	<i>Interfaz dialog para lanzar las mediciones.</i>	43
4.5.	<i>Mapas con los que trabaja RadioMobile.</i>	46
4.6.	<i>Cámara anecoica donde introdujimos los nodos colocados a los extremos (emisor y receptor).</i>	49
4.7.	<i>Repetidor para el escenario de 3 nodos.</i>	50
4.8.	<i>Repetidor 1 y Repetidor 2.</i>	50
5.1.	<i>¿Cómo trabaja WiMAX?</i>	58
5.2.	<i>Propiedades de las redes en RadioMobile.</i>	60
5.3.	<i>Enlace de Radio en RadioMobile.</i>	62
5.4.	<i>Diseño del escenario del experimento de interferencias entre antenas.</i>	64
5.5.	<i>Modelo gestor-agente.</i>	71
5.6.	<i>Sistema de gestión de redes.</i>	71

5.7. <i>Zabbix 1.1.</i>	72
5.8. <i>Bloques componentes del gestor de red.</i>	72
5.9. <i>Arquitectura del gestor de red.</i>	73
6.1. <i>Margen Relativo de recepción (Rx Relativo) simulado para diferentes porcentajes de situación y tiempo.</i>	86
6.2. <i>Ajuste de los porcentajes de situaciones y tiempo en varios enlaces de la red del Napo.</i>	87
6.3. <i>Procedimiento del bloqueo de las unidades.</i>	88
6.4. <i>Orígenes de los mapas SRTM3.</i>	89
6.5. <i>Número de píxeles con el que visualizaremos el mapa.</i>	90
6.6. <i>Número de registros empleados en el balance del enlace.</i>	91
6.7. <i>Representación conceptual de una masa forestal indicando la altura media de la cobertura y la del centro de fase de dispersión.</i>	92
6.8. <i>Tipos de proyecciones del mapa de LandCover.</i>	93
6.9. <i>Introducción de la ruta en la que se encuentra el mapa de LandCover.</i>	94
6.10. <i>Activación e inclusión de Land Cover.</i>	95
6.11. <i>Visualización de LandCover.</i>	96
6.12. <i>Pérdida adicional por Bosque de 4,2 dB entre Hospital Regional y Petro Perú.</i>	97
6.13. <i>Comparación de la definición de las clases de vegetación definidas por la Universidad de Maryland y por el IGBP-DIS.</i>	98
6.14. <i>Número de pixels en el área de la primera zona de Fresnel y del bosque dentro de la misma.</i>	99
6.15. <i>Variación de la caída de Throughput, en el escenario con 3 nodos y tarjetas CM9, en función de los canales en 802.11a.</i>	101
6.16. <i>Variación de la caída de Throughput, en el escenario con 4 nodos y tarjetas CM9, en función de los canales en 802.11a.</i>	102
6.17. <i>Variación de la caída de Throughput, en el escenario con 3 nodos y tarjetas CM9, en función de los canales en 802.11g.</i>	103
6.18. <i>Variación de la caída de Throughput, en el escenario con 4 nodos y tarjetas CM9, en función de los canales en 802.11g.</i>	104
6.19. <i>Variación de la caída de Throughput, en el escenario con 3 nodos y tarjetas SR2, en función de los canales en 802.11g.</i>	105
6.20. <i>Variación de la caída de Throughput, en el escenario con 4 nodos y tarjetas SR2, en función de los canales en 802.11g.</i>	105
6.21. <i>Herramienta de control del Mantenimiento Preventivo realizado por los técnicos.</i>	110
6.22. <i>Cálculo del número de elementos necesarios en la red.</i>	114
6.23. <i>Cálculo y decisión del número de elementos en stock.</i>	114
6.24. <i>Gestión del stock.</i>	115
B.1. <i>Componentes de la Arquitectura D-ITG.</i>	143
B.2. <i>Generación en modo flujo único.</i>	145
B.3. <i>Generación en modo flujo múltiple.</i>	145

B.4. <i>Generación en modo demonio.</i>	145
B.5. <i>ITGSend en modo demonio.</i>	148
E.1. <i>Acceso a RT.</i>	162
E.2. <i>Página Principal de Request Tracker.</i>	163
E.3. <i>Creación de un ticket a través del botón “New Ticket in”.</i>	165
E.4. <i>Visualización de la página Ticket.</i>	167
E.5. <i>Añadir un criterio en la búsqueda de un ticket.</i>	169
E.6. <i>Elección de la información que queremos que se muestre al realizar la búsqueda de un ticket.</i>	169
E.7. <i>Creación/Actualización de usuarios.</i>	171
E.8. <i>Creación de grupos.</i>	172
E.9. <i>Añadir/eliminar miembros de un grupo concreto.</i>	172
E.10. <i>Creación de una cola.</i>	173
E.11. <i>Campos de entrada Cc y AdminCc de la Cola “Engineering”.</i>	174
E.12. <i>Privilegios o permisos asignados a los grupos creados.</i>	174
E.13. <i>Informe de tickets resueltos por los usuarios pertenecientes a una cola concreta (Customer Service).</i>	177

Lista de Tablas

3.1.	<i>Ventajas e inconvenientes de las diferentes tecnologías de acceso a Internet.</i>	14
3.2.	<i>Ventajas e inconvenientes de las diferentes tecnologías de la red de distribución y troncal.</i>	17
4.1.	<i>Resolución de los mapas que utiliza RadioMobile.</i>	46
4.2.	<i>Variables de entrada del modelo Longley Rice.</i>	48
5.1.	<i>Probabilidades que afectan a cada Modo de Variabilidad.</i>	61
6.1.	<i>Clasificación de los factores críticos de éxito en función de las categorías de sostenibilidad.</i>	82
6.2.	<i>Valores de resistividad y permitividad del suelo en función del tipo de terreno.</i>	83
6.3.	<i>Valores de Refractividad en función del tipo de clima.</i>	83
6.4.	<i>Actividades de Mantenimiento Preventivo de usuarios finales.</i>	109
6.5.	<i>Actividades de Mantenimiento Preventivo de técnicos.</i>	111
6.6.	<i>Sistemas de Gestión de Incidencias Open Source.</i>	118
E.1.	<i>Condiciones de Scrip.</i>	175
E.2.	<i>Acciones de Scrip.</i>	176
E.3.	<i>Plantillas básicas.</i>	177

Resumen

Este trabajo se presenta como proyecto final de carrera de Ingeniería Técnica de Telecomunicación. El objetivo es mejorar la metodología empleada por el programa EHAS [EHA] en la planificación, el diseño, el despliegue y la puesta en funcionamiento de redes de comunicaciones rurales en países en vías de desarrollo. Se pretenden solucionar las deficiencias encontradas en esta metodología persiguiendo la mejora y la sostenibilidad de esas redes.

Este es un proyecto de reingeniería de procesos. Se ha revisado toda la cadena de procedimientos empleados por EHAS desde la identificación de un proyecto de red hasta su puesta en operación, y se han propuesto los ajustes que mejoran cada etapa. Por esta razón, la profundidad con que se abordan distintas etapas es desigual; mientras que algunos aspectos se recogen de forma casi descriptiva, en otros ha sido preciso profundizar para poder hacer propuestas de mejora.

Como corolario de la metodología propuesta que se presenta en este trabajo se obtiene que hay que hacer hincapié en la importancia de la correcta realización de las primeras fases de la metodología tradicional como son: la determinación de la tecnología para la red de acceso y la troncal y el correcto diseño de la red con la herramienta utilizada hasta el momento, RadioMobile. Además se proponen algunas nuevas como el estudio de la viabilidad de los proyectos, el ajuste exacto de los parámetros del modelo de propagación, la valoración técnica y económica de las necesidades de mantenimiento de las redes tras su instalación y el uso de un sistema de gestión de incidencias de la red.

Asimismo, se estudia un nuevo paquete cartográfico para incluir en RadioMobile que permite añadir la cobertura de la tierra a los mapas que esta herramienta utiliza. De esta forma, podemos ajustarnos mejor a las características externas del entorno en el que se van a instalar las redes.

También se comentan nuevas líneas de investigación en las que el programa EHAS está invirtiendo su tiempo y recursos para buscar novedosas ventajas con la implementación de nuevas tecnologías a las que actualmente están en uso.

Finalmente, se realiza un experimento sobre interferencia mutua entre radios colocadas en una misma torre para determinar la distancia horizontal mínima a la que se deben colocar para reducir al máximo este fenómeno.

El resultado del proyecto es una metodología mejorada cuya aplicación permitirá al programa EHAS la realización de proyectos con menos errores de diseño (y por lo tanto más eficaces y eficientes) y más sostenibles.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Origen del trabajo

Avanzamos hacia sociedades estructuradas sobre la información y el conocimiento, donde las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) juegan un papel fundamental en el desarrollo, y pueden ser decisivas para mejorar de forma eficaz las condiciones de vida de amplios sectores de población marginada. Cada persona, cada institución, cada país debe identificar aquellos objetivos sobre los que puede influir positivamente, valorar la forma más apropiada de canalizar su aportación, identificar los colaboradores que pueden ayudarle a hacer más eficiente su trabajo, plantearse una meta a medio plazo y dar seguimiento y evaluar periódicamente el fruto de su actividad desde una perspectiva global.

Esto es lo que analizó el programa EHAS y se creó con el fin de promover el uso apropiado de las nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para mejorar los procesos de salud en zonas rurales aisladas de países en desarrollo. Para ello, hasta el momento, ha seguido una metodología en la que a lo largo de sus 5 años de vida se han detectado una serie de fallos.

En 2007, el programa EHAS llevó a cabo el proyecto PAMAFRO enmarcado dentro del “Proyecto de Control de Malaria en las Áreas Fronterizas de la Región Andina: Un enfoque comunitario” del año 2006-2007, cuya zona de actuación fue la provincia de Datem del Marañón y el distrito del Napo en la provincia de Maynas en Perú y que constaba de 16 establecimientos en los que se instalaron sistemas de telecomunicación de voz y datos. Pocos meses después, a finales de 2007, se realizó una repotenciación [Lea] [Lea07] sobre esta micro-red de salud instalada a orillas del río Napo ya que se dieron problemas de baja disponibilidad de los sistemas de la red. Concretamente, los problemas que se detectaron fueron:

1. Fallas de conectividad y caídas temporales de algunos enlaces entre nodos de la red.
2. Comunicación por voz entrecortada y caída de llamadas.
3. Ancho de banda de 512 Kbps insuficiente para aplicaciones de telemedicina, conferencias, usuarios de internet, etc.
4. Servicios de red inutilizados: correo electrónico EHAS, conferencias, ...
5. Falta de explotación de las posibilidades de la red: digitalización de la información, envío de informes del MINSA en formato digital, reporte fotográfico de casos, ...

6. Dependencia de la conexión satelital a Internet a sistemas eléctricos externos.
7. Adecuación deficiente de los equipos exteriores al clima tropical.
8. Inventario de equipos instalados poco fiable.
9. Conocimientos y capacidades insuficientes del personal sanitario en el manejo de los sistemas EHAS.
10. Ausencia de personal técnico capaz de realizar un mantenimiento básico de la red y de reportar fallos mayores.

1.2. Objetivo del proyecto

Lo expresado en la sección anterior hace que surja la necesidad de hacer más estables y sostenibles las redes de EHAS. El fin último de este PFC es identificar cada una de las deficiencias o fallos en las fases de planificación, diseño, despliegue y puesta en funcionamiento de las redes EHAS para, proponer soluciones a algunos de ellos ofreciendo las herramientas necesarias para conseguir eliminarlos y aportar nuevas consideraciones que podrían mejorar esta metodología. Es decir, revisando la metodología tradicional se proponen mejoras en aquellas etapas que presentaban deficiencias o errores que pudieran dar lugar a un resultado subóptimo de las redes obtenidas, en términos de funcionamiento y sostenibilidad.

1.3. Estructura del trabajo

La línea de trabajo seguida para la realización de este proyecto fin de carrera se ha dividido en varias fases.

En primer lugar, hubo un acercamiento a la situación de los países en vías de desarrollo. En esta fase las tareas realizadas fueron búsqueda de información y documentación y análisis de la misma. Con ello se escribió el Capítulo 2 en el que haremos un repaso del contexto en el que nos encontramos mencionando la realidad de las zonas en las que el programa EHAS opera y la metodología de intervención que lleva a cabo una vez que se le adjudica la realización de un proyecto.

Una vez familiarizada con el problema, la segunda fase se basa en la lectura y análisis de la metodología de EHAS, por lo que en el Capítulo 3 describiremos las fases que la componen.

El tercer paso, y relacionado con la anterior, consistió en un intercambio de información con los componentes del programa EHAS, para hacerle saber los problemas detectados hasta el momento con el fin de tener un conocimiento de primera mano sobre los fallos más comunes. El cuarto fue el análisis exhaustivo de la metodología seguida hasta esa fecha detectando carencias y fallos metodológicos que se detallan en el Capítulo 5, y aportando soluciones a cada una de ellas en el Capítulo 6, además de añadir nuevas consideraciones para mejorar la intervención en los países en vías de desarrollo.

Para solucionar los problemas detectados y así mejorar la metodología mencionada anteriormente, se hace uso de algunas herramientas que son explicadas en el Capítulo 4. Entre ellas está

RadioMobile, que es un programa que lleva siendo utilizado por el programa EHAS desde sus comienzos, y se añade una nueva, un generador de tráfico (D-ITG) que se explicará en dicho capítulo y que nos ayudará a realizar un experimento para determinar la distancia a la que se deben colocar dos radios en una misma torre para disminuir el acoplamiento mutuo.

Finalmente, se sacan las principales conclusiones del documento y se abren nuevas líneas de trabajo a partir de este estudio para continuar mejorando la metodología revisada más allá de las aportaciones de este trabajo.

Capítulo 2

Contexto

El programa Enlace Hispanoamericano de Salud (EHAS) [EHA] fue diseñado y ejecutado en 1997 por el Grupo de Bioingeniería y Telemedicina [GBT] de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y la ONGD Ingeniería Sin Fronteras Asociación para el Desarrollo (ISF ApD) [ISF] con el objetivo de estudiar la utilidad de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para mejorar las condiciones de trabajo del personal de salud rural y la salud de los habitantes de países en vías de desarrollo. Las investigaciones que realizaban se centraban en el diseño de sistemas y servicios de comunicación apropiados a las necesidades del personal sanitario rural de los países de América Latina y desde la telemedicina (aplicación de la telecomunicación y la informática a la salud) pretendían contribuir a la mejora de los sistemas públicos de asistencia sanitaria en las zonas rurales.

Después de un período inicial de investigación realizado en Madrid por el grupo GBT-UPM, se obtiene una importante conclusión: el acceso a Internet a través de la tecnología radio VHF/HF en zonas rurales aisladas de países en desarrollo es viable tanto tecnológica como económicamente [Mar03]. Con el objetivo de implementar un primer proyecto piloto en Perú, dos instituciones locales de Lima se unen al Programa EHAS: la Facultad de Telecomunicaciones de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), actuando como contraparte tecnológica, y la Facultad de Medicina de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH), actuando como contraparte médica. Este equipo multidisciplinar comienza a trabajar en el desarrollo de dos líneas principales de acción: la tecnología EHAS y los servicios EHAS.

Fue en 2004 cuando UPM e ISF crearon la Fundación EHAS (Enlace Hispano Americano de Salud) que es una institución sin ánimo de lucro cuyo fin es promover el uso apropiado de las nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para mejorar los procesos de salud en zonas rurales aisladas de países en desarrollo. Tiene su sede en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación (ETSIT) de la UPM.

En 2008 se amplió el patronato con la Universidad del Cauca de Colombia, la Pontificia Universidad Católica del Perú y la Universidad Rey Juan Carlos (URJC).

EHAS trabaja desde hace años en Perú, Colombia y Cuba, y está empezando a desarrollar sus actividades en Ecuador. Plantea cuatro grandes líneas de acción:

1. La investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías de comunicación y sistemas de acceso e intercambio de información adaptadas a las zonas rurales de países en desarrollo.
2. El asesoramiento, desarrollo y evaluación de protocolos de actuación para la mejora de los

procesos de atención de salud en las zonas rurales, con especial atención en los relacionados con la salud materno-infantil.

3. El diseño y la ejecución de proyectos de cooperación para el desarrollo que permitan validar tanto la tecnología como los protocolos de actuación anteriores; y,
4. El desarrollo de actividades de formación, difusión, transferencia e incidencia política para promover el uso adecuado de las TIC en el sector salud rural de países en desarrollo.

Además, el programa EHAS piensa que la ciencia y la tecnología son instrumentos que tienen que ponerse al servicio global de la sociedad. Por ello las líneas de investigación de EHAS se estructuran en cinco ámbitos de trabajo:

1. Estudio de necesidades de comunicación y acceso a información del personal sanitario rural.
2. Desarrollo de herramientas de telecomunicación (transmisión de voz y datos) utilizando tecnologías inalámbricas de bajo coste.
3. Desarrollo de servicios de intercambio y acceso a información (formación a distancia, informatización del sistema de vigilancia epidemiológica, teleconsultas, referencia-contrarreferencia de pacientes, gestión de emergencias y distribución de medicamentos).
4. Desarrollo de proyectos piloto demostrativos.
5. Evaluación de la viabilidad y el impacto producido por la introducción de los sistemas y servicios EHAS en los procesos de atención y en la salud de los pacientes.

2.1. Realidad de las zonas aisladas de países en vías de desarrollo

Entre los factores que afectan a la baja efectividad de los sistemas y servicios de atención de salud en la mayoría de las zonas rurales de países en vías de desarrollo están la falta de infraestructura y equipamiento sanitario, los problemas de incomunicación, la insuficiencia de personal y sus carencias de formación.

Los caminos posibles para mejorar las condiciones sanitarias de la población rural de países en desarrollo pueden comenzar en trabajar en la mejora de las condiciones higiénicas de la población, ofreciendo acceso a sistemas de agua potable y saneamiento y la nutrición a través del desarrollo productivo de la zona (ambas líneas estratégicas de Ingeniería Sin Fronteras). El programa EHAS explora una vía complementaria: introducir sistemas de comunicación para el personal sanitario rural que permitan un mejor uso de los recursos ya existentes y una mejor coordinación del sistema completo de atención de salud.

Sin embargo, los establecimientos de salud¹ de la zona rural plantean unos condicionantes que impiden una actuación clásica para la instalación de sistemas de comunicación y servicios de información:

¹Los establecimientos de atención primaria en los países en América Latina donde EHAS actúa pueden agruparse en dos categorías: Centros de Salud (también llamados policlínicos) y Puestos de Salud (o consultorios). La diferencia entre centro y puesto de salud radica en que los puestos de salud (PS) son los establecimientos de menor jerarquía dentro del sistema público de atención primaria. Constituyen la puerta de acceso al sistema de salud para la población rural. Suelen estar situados en poblaciones aisladas y dispersas de no más de mil habitantes, sin

- Los ingresos de los establecimientos de salud rurales son tan bajos que descartan cualquier solución tecnológica con altos costes de operación.
- La mayoría de estos establecimientos no cuentan con sistemas de suministro eléctrico.
- Algunos centros de salud cuentan con línea telefónica, pero prácticamente todos los puestos de salud carecen de ella.
- Existe una dificultad real para la realización de las tareas de mantenimiento y reparación de sistemas sofisticados de comunicación en la zona rural (falta de recursos humanos cualificados y concentración de los servicios técnicos en las grandes ciudades).

Podemos decir, entonces, que las condiciones generales que se dan en la atención primaria de salud en zonas rurales justifican una intervención centrada en el refuerzo de las capacidades del personal sanitario y en la dotación de sistemas de telecomunicación. Sin embargo, hay dos características que condicionan una intervención de telemedicina: las limitaciones económicas de los agentes de salud y las condiciones específicas del trabajo en las zonas rurales. La primera aconseja el empleo de tecnología de telecomunicación apropiada y robusta, pero a su vez de bajo mantenimiento y fácil de manejar, de bajo consumo y coste, pero sobre todo con unos gastos de operación mínimos; mientras la segunda impone el empleo de contenidos formativos y de intercambio de información que estén especialmente diseñados para el personal rural en su entorno de trabajo. Además, si se quiere que la intervención permita el desarrollo nacional a largo plazo, debe emplear una estrategia de intervención que apueste por el refuerzo de capacidades en los agentes locales que puedan asumir desde dentro, el desarrollo de infraestructura de telecomunicación rural y la generación y provisión de servicios de información para la salud [Mar04].

2.2. Estrategia de intervención del programa EHAS

El programa EHAS ha desarrollado una metodología y varias herramientas para la detección de necesidades de comunicación y acceso a información del personal de salud rural por lo que, en los países de actuación, se han llevado a cabo encuestas a los trabajadores de los centros y puestos de salud. Los resultados principales que se extraen de las mismas muestran que:

- Las tres cuartas partes del personal sanitario rural tiene sensación de aislamiento profesional.
- La mayoría de los establecimientos de salud rural están dirigidos por técnicos de enfermería que es personal con escasa formación que necesita comunicación continua con su médico de referencia para hacer consultas clínicas.

línea telefónica o alumbrado eléctrico y mal dotadas de infraestructura de carreteras. Desde aquí los enfermos son dirigidos al centro de salud de referencia. Por otro lado, los centros de salud (CS) son establecimientos de mayor jerarquía que los PS, situados en capitales de distrito o en barrios de la capital provincial, donde podría llegar línea telefónica. Un CS es centro de referencia de varios PS y posee cierta infraestructura y equipamiento para realizar algunas pruebas diagnósticas. Son el lugar desde el que se coordinan las actividades de los puestos de salud asociados (distribución de medicamentos, envío y recepción de informes administrativos y epidemiológicos, ...)

- Entre uno y dos días a la semana los establecimientos rurales quedan desatendidos por viajes de coordinación del personal asistencial.
- La media de tiempo necesaria para que un técnico viaje hasta su centro de referencia (lugar donde encuentra a su médico responsable) es muy alta (por ejemplo, en la provincia de Alto Amazonas (Loreto, Perú) es de diez horas y media).
- Hay un alto gasto por el envío de información epidemiológica y administrativa; media de 30 dólares por viaje, lo cual supone un tercio del sueldo del técnico de enfermería (los puestos de salud envían alrededor de cien hojas mensuales a su centro de salud de referencia, y los centros de salud unas trescientas a la Dirección Provincial de Salud).
- El personal sanitario es muy joven (alrededor de 32 años) y existe una alta rotación (no permanecen más de dos años en el mismo establecimiento).
- La mayoría de los establecimientos de salud rurales no tiene posibilidad de instalar teléfono, ni es una tarea que éste en los planes de medio plazo de las compañías telefónicas.
- No hay acceso a electricidad en la mayoría de las poblaciones rurales.

El programa EHAS se materializa de forma integral en cada país como un sub-programa denominado EHAS-País. La implantación está diseñada para realizarse en cuatro fases [EHA]:

1. Identificación, constitución y capacitación de las contrapartes en un nuevo país.

El proyecto EHAS se apoya en la existencia de una contraparte médica y otra tecnológica. Dichas contrapartes se buscan entre instituciones de investigación locales y han de demostrar ciertas capacidades: estabilidad a medio y largo plazo, solvencia y responsabilidad para la gestión de fondos de cooperación, experiencia en temas de acceso a información médica en el caso de la contraparte médica y en telemática y radiocomunicación en el caso de la contraparte tecnológica.

La fase de constitución comprende la creación del Centro Coordinador Nacional (CCN), en las dependencias de la contraparte sanitaria, y del Laboratorio de Comunicaciones de Bajo Coste (LCBC), en las dependencias de la contraparte tecnológica. Desde el CCN se desarrollan y proveen los servicios de capacitación y acceso a la información para el personal sanitario. En el LCBC se desarrolla y adapta la tecnología de comunicación de bajo coste a aplicar en las zonas rurales del país.

2. Estudio de necesidades de comunicación y acceso a información del personal sanitario rural.

El programa EHAS dispone de varias herramientas de investigación tanto cualitativa como cuantitativa para detectar qué departamentos o provincias del país en cuestión tienen mayores dificultades y necesidades, así como cuales de ellas, según la orografía y el clima, se adaptan mejor a una u otra de las tecnologías diseñadas.

3. Desarrollo de una experiencia piloto.

El programa EHAS contempla la existencia de un demostrador del sistema en una provincia piloto del país. Una vez que el CCN está preparado para ofrecer los servicios de acceso a

información y capacitación, se implementa la tecnología de acceso a Internet por radio en cuarenta establecimientos de salud rurales. El sistema permite un intercambio de mensajes locales entre el personal que trabaja en los puestos de salud aislados y su centro de referencia (mejora del sistema de vigilancia epidemiológica, coordinaciones, gestión de ambulancias, . . .), así como entre los puestos aislados y el resto de Internet (acceso a los servicios del CCN, acceso completo a cualquier dirección Internet, . . .). El Nodo Internacional, ubicado en Madrid, en coordinación con las contrapartes locales se encarga de conseguir la financiación para el proyecto piloto. El objetivo de este demostrador es medir el impacto que el uso de dicha tecnología produce en las labores del personal sanitario, así como comprobar la relación coste/beneficio del sistema. Con todo esto se pretende demostrar la validez del programa frente al Ministerio de Salud del país para poder así pasar a la siguiente y última fase del proyecto.

4. Implantación masiva de tecnología EHAS en el resto del país.

Una vez que las autoridades sanitarias del país han podido comprobar la eficiencia de la tecnología y servicios, las contrapartes locales EHAS están en disposición de ofrecer los servicios de acceso a comunicación e información médica al resto del país. El ente promotor de la implantación masiva del programa EHAS ha de ser el propio Ministerio de Salud local, amparado por sponsors locales o internacionales.

Capítulo 3

Metodología de diseño de redes EHAS

Hasta ahora, para el estudio y despliegue de todas las redes diseñadas por EHAS se ha seguido la siguiente metodología [Gar06]:

1. Obtención de las coordenadas geográficas de los establecimientos que conforman la red.
2. Arquitectura de la red.
 - a)* Determinación de la tecnología para la salida a Internet y a la RTC, el diseño de la red de acceso y la red troncal.
3. Simulación de los radioenlaces RF de la red con ayuda de RadioMobile.
 - a)* Determinación de las especificaciones radioeléctricas.
 - b)* Determinación del equipamiento dependiendo de la tecnología y del tipo de nodo.
 - c)* Localización y altura de antenas y repetidores.
4. Especificación del sistema de soporte mecánico.
5. Dimensionamiento del sistema de suministro eléctrico.
6. Diseño del sistema de protección eléctrica.
7. Diseño del sistema de puesta a tierra.
8. Redacción del documento técnico con listado de materiales y planos de instalación de los sistemas.
9. Cálculo del presupuesto.

3.1. Obtención de las coordenadas geográficas de los establecimientos

El primer paso a la hora de diseñar una nueva red es la localización geográfica de cada uno de los establecimientos pertenecientes a ella. Debemos hacer especial énfasis en la correcta recolección de estas coordenadas ya que a partir de ellas procederemos al diseño de la red con el programa RadioMobile.

Un posible agente que podría aportarnos esta información sería el Ministerio de Salud del país beneficiario a través de información de la ubicación de cada uno de los hospitales, centros de salud y puestos de salud involucrados en el proyecto. Otra fuente de información podrían ser los mapas geográficos del Instituto Geográfico Nacional del país.

En determinados establecimientos de salud de la red del Napo¹, y cuando no se había podido obtener las coordenadas mediante ninguna de las fuentes anteriormente citadas, se utilizó el GPS para determinar la ubicación exacta de los mismos.

Una buena recolección de esta información es el primer paso para el desarrollo de las siguientes fases de la metodología ya que si tenemos bien ubicados todos los puestos, conseguiremos minimizar los errores reales al compararlos con lo obtenido en la simulación.

3.2. Arquitectura de la red

En esta sección describiremos las ventajas y desventajas de las tecnologías empleadas por el programa EHAS en cada una de las tipologías de redes que despliega en zonas rurales de países en vías de desarrollo. Además mostraremos imágenes de las arquitecturas de red propias de estas tecnologías.

3.2.1. Determinación de la tecnología para la salida a Internet y a la RTC, el diseño de la red de acceso y la red troncal

Las condiciones particulares de muchas regiones rurales carentes de infraestructuras y recursos conllevan a que las redes de operador, las infraestructuras cableadas y las redes satelitales sean inapropiadas. La inaccesibilidad de muchos lugares y la dispersión de la población hace que lo mejor sea el uso de tecnologías inalámbricas de largo alcance.

En zonas rurales aisladas, donde gran parte del tiempo puede emplearse en desplazamientos, es esencial que la tecnología minimice los tiempos y el coste de instalación, administración y el mantenimiento de la red.

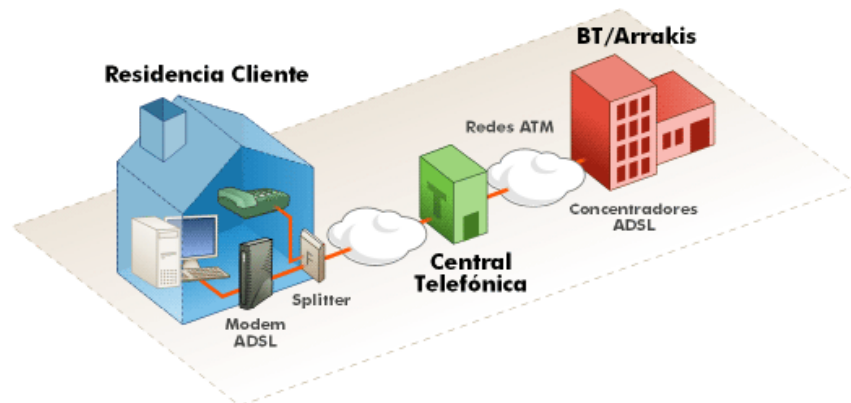
3.2.1.1. Salida a Internet y a la Red Telefónica Conmutada (RTC)

Además de la importancia de elegir adecuadamente la tecnología que se utilizará en la red habrá que hacer un estudio de la tecnología que se empleará para la salida a Internet y a la red telefónica. En cada red habrá una o más estaciones con salida a Internet a través de ADSL o enlace satelital (Figura 3.1) dependiendo de las características y requisitos de la red.

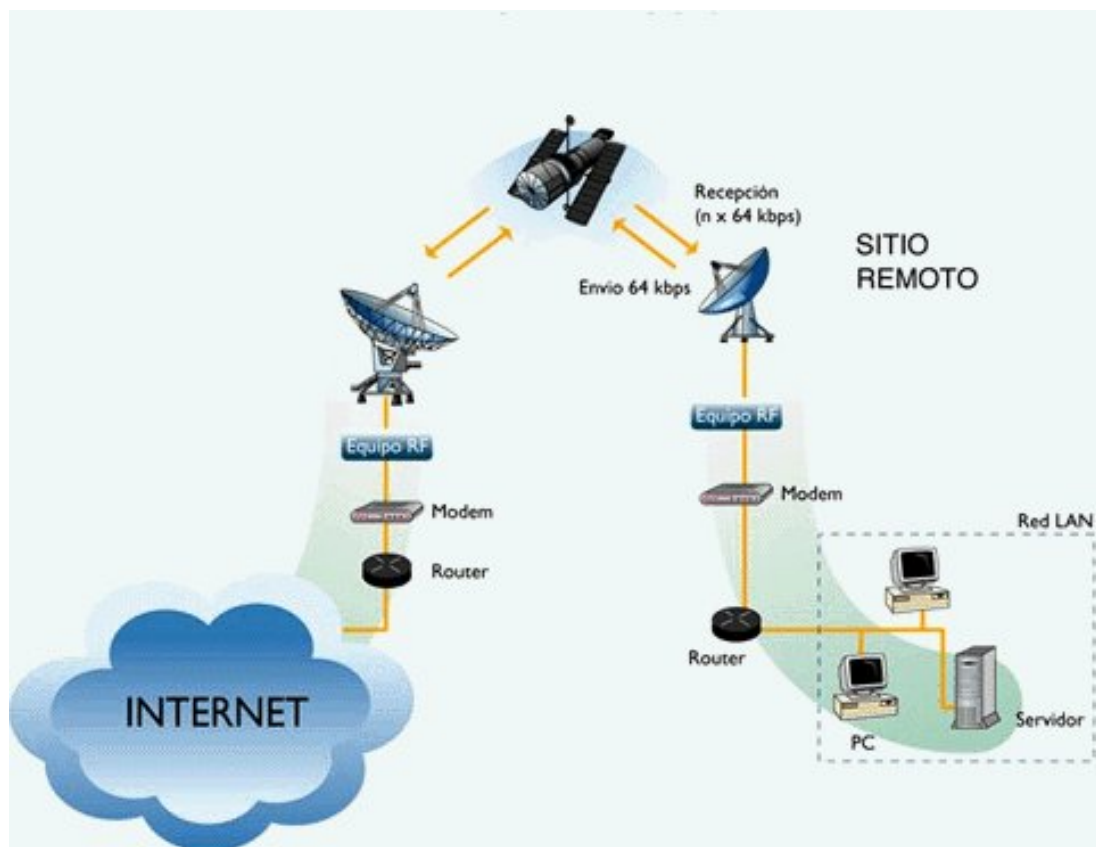
En la Tabla 3.1 se destacan las ventajas e inconvenientes de las tecnologías de acceso a Internet que considera el programa EHAS.

Cuando alguna de las ubicaciones cuente con salida a Internet vía ADSL se considerará como mejor opción ya que aporta mayor fiabilidad y estabilidad al sistema con respecto a las conexiones satelitales. Sin embargo, en zonas rurales suele resultar difícil contar con un punto con conexión a la línea telefónica, y aún más improbable que ésta tenga la posibilidad de conexión ADSL. Es por ello que, en estos casos, pese a sus grandes costes de operación, se hace necesaria la contratación

¹Proyecto EHAS-PAMAFRO



(a) Esquema de red ADSL.



(b) Pasarela Satelital.

Figura 3.1: Tecnologías de Acceso a Internet.

	Ventajas	Inconvenientes
ADSL	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor calidad. - Conexión dedicada sin interrupciones. - Servicio independiente de la distancia. - Acceso múltiple de las aplicaciones de voz y datos. - Los enlaces asimétricos se adaptan a los requerimientos de transferencia de datos entre una estación central que transmite mucha información a estaciones lejanas que responden con poca. - Estabilidad de los costes de operación de la red durante un largo período de tiempo. - Amplia disponibilidad de soporte técnico. - Uso de frecuencias sin licencia con ciertas limitaciones de potencia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cobertura limitada dependiendo del país y es posible que no esté disponible en la mayoría de los emplazamientos. - Frecuentes caídas de la red por dar servicio a muchos usuarios. - Coste elevado si se utiliza como tecnología única.
Satélite	<ul style="list-style-type: none"> - Gestión centralizada de la red. - Servicio independiente de la distancia. - Cobertura global e inmediata. - Fácil y rápida implantación en lugares de difícil acceso. - Los enlaces asimétricos se adaptan a los requerimientos de transferencia de datos entre una estación central que transmite mucha información a estaciones lejanas que responden con poca. - Facilidad de reconfiguración y de ampliación de la red. - Se suele diseñar para tener una disponibilidad de la red del 99.5 % del tiempo y con una BER de 10^{-7}. - Estabilidad de los costes de operación de la red durante un largo periodo de tiempo. - Evita las restricciones que impone una red pública en cuanto a costes y puntos de acceso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Las inversiones iniciales son elevadas. - El punto más crítico de la red está en el satélite. - Es sensible a interferencias provenientes tanto de la tierra como del espacio.

Tabla 3.1: *Ventajas e inconvenientes de las diferentes tecnologías de acceso a Internet.*

de enlaces satelitales para la salida a Internet. En este caso, estas salidas se ubicarán de manera que se minimice el número de saltos promedio desde las estaciones finales.

3.2.1.2. Red Troncal y Red de Acceso

Definamos en primer lugar a qué nos queremos referir con red troncal y red de acceso. La primera de ellas está formada por un conjunto de nodos (nodos troncales) convenientemente distribuidos por todo el territorio a cubrir, conectados entre sí por enlaces troncales que forman dicha red. Un enlace troncal es aquel que sirve a sistemas que dan servicio a otros, independientemente de que se trate de emplazamientos con o sin usuario. Los emplazamientos con usuario (nodo terminal cliente) forman parte de la red de acceso y, por tanto, ésta proporciona cobertura a los nodos finales siendo el tramo de red que une a los clientes con el resto de la red.

EHAS ha manejado hasta la actualidad las siguientes opciones tecnológicas tanto para la red troncal como para la red de acceso:

- Comunicaciones locales de voz por HF (canalización de 2.5 KHz), con la posibilidad de introducir datos modulados, codificados y adaptados a un canal audio con un ordenador con tarjeta de sonido, a velocidades de hasta 2.5 Kbps.
- Comunicaciones locales de voz por VHF (canalización de 12.5 KHz) con la posibilidad de introducir datos modulados, codificados y adaptados a un canal audio con un ordenador con tarjeta de sonido, a velocidades de hasta 9.6 Kbps.
- Comunicaciones de datos a alta velocidad (1-4 Mbps) localmente y hacia Internet, y comunicaciones de voz locales empleando VoIP, con posibilidad de contar con pasarela a la Red Telefónica Conmutada.

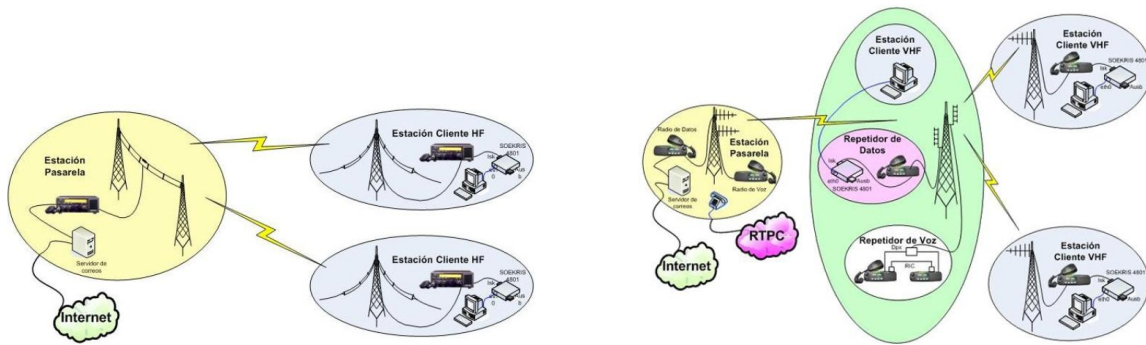
Las tres opciones, que se representan esquemáticamente en la Figura 3.2, tienen en común que se trata de alternativas de comunicaciones de voz y datos de bajo coste comparadas con las comunicaciones por satélite o la creación de infraestructuras celulares.

En la Tabla 3.2 enumeramos las ventajas y desventajas de cada una de estas tecnologías. Si se quiere profundizar más en las tecnologías UHF y VHF consultar [Gra07] y para WiFi, [WiF] [Sim07].

El hecho de que WiFi necesite línea de vista hace necesario el uso de torres de gran altura en escenarios en los que no existan puntos geográficamente más elevados, lo que conllevará a un aumento considerable de la partida dedicada a este equipamiento en el presupuesto del proyecto. Este hecho, se podrá contrarrestar ya que al ser una tecnología con un estándar ampliamente conocido y fácil de configurar, el equipamiento es de bajo coste. Además, estos equipos consumen poca potencia por lo que la partida referente a gastos de funcionamiento del equipamiento disminuirá.

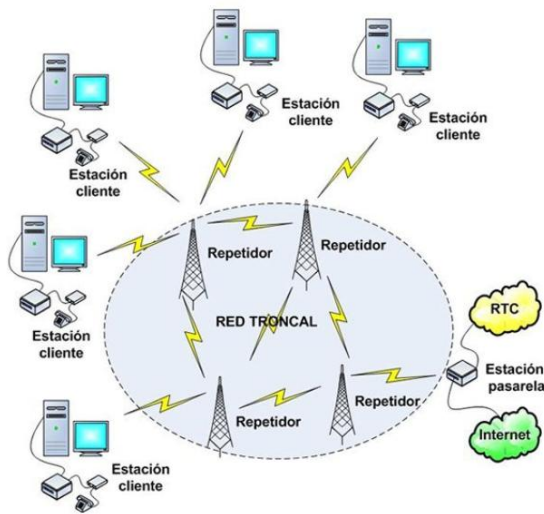
Dado que WiFi fue diseñado para redes locales², si se quieren cubrir distancias elevadas entre puestos, se podrán incluir repetidores siempre y cuando se dé acceso a más de un establecimiento final ya que en caso contrario el coste a asumir sería demasiado elevado.

²Los protocolos de la familia de estándares IEEE 802.11 están pensados para distancias de decenas o centenas de metros



(a) Esquema de red HF.

(b) Esquema de red VHF.



(c) Esquema de red WiFi.

Figura 3.2: Tecnologías utilizadas por EHAS.

	Ventajas	Inconvenientes
HF	<ul style="list-style-type: none"> - La distancia no limita. - Se pueden alcanzar lugares con ubicaciones complicadas sin necesidad de repetidores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coste más elevado para dotar de servicio a un solo emplazamiento. - Baja velocidad obtenida. - Enlaces con peor calidad; mucha variabilidad en cortos intervalos de tiempo. - Entorno muy sensible a errores. - Mayor consumo de energía que VHF (normalmente se utilizan transceptores de 100W).
VHF	<ul style="list-style-type: none"> - Enlaces a largas distancias. - Requiere línea de vista aunque pueden salvarse algunos obstáculos vegetales. - Fácil reutilización de frecuencias. - La calidad de los enlaces es similar las 24 horas del día al no verse afectada la propagación por los cambios climáticos. 	<ul style="list-style-type: none"> - El uso de la banda requiere la obtención oficial de una licencia de servicio. - Velocidades menores que para otras tecnologías. - Consumo elevado (en torno a 45W). - Al requerirse potencias mayores, los paneles solares deberán ser de superficie mucho mayor y las baterías de mayor capacidad con el consecuente aumento del coste.
WiFi	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de frecuencias sin licencia pero con ciertas limitaciones de potencia. - Gran ancho de banda y velocidad de transferencia elevada. - Baja tasa de errores. - Tecnología con estándar conocido y fácil de configurar. - Bajo coste de los equipos. - Bajo consumo de potencia. - Flexibilidad. - Fácil instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere línea de vista directa.

Tabla 3.2: *Ventajas e inconvenientes de las diferentes tecnologías de la red de distribución y troncal.*

Dadas las características de los servicios ofrecidos por VHF, se valorará como segunda opción tecnológica.

Siempre se preferirá tener redes homogéneas debido a la eficiencia del mantenimiento y la gestión de la red. Sin embargo, se podría proponer una red heterogénea VHF/WiFi si hay al menos 4 estaciones accesibles por cada una de las tecnologías. Conforme a este criterio es preferible que algunas ubicaciones posibles queden fuera del diseño antes de mezclar tecnologías.

A la hora de analizar la tecnología a utilizar en una determinada zona, se considera también la homogeneidad externa. Hay que tener en cuenta el entorno en el que se instalará la red ya que si, por ejemplo, el resto de estaciones de la región donde se instalará la red hacen uso de la tecnología VHF, se valorará esta tecnología para permitir la comunicación con otras estaciones ajenas a la red aunque sus prestaciones no sean óptimas.

3.3. Simulación de radioenlaces RF mediante RadioMobile

Para realizar el diseño de la red es necesario calcular las pérdidas de propagación, interferencias, ... Con este objetivo se debe usar una herramienta que incluya un modelo de propagación que tenga en cuenta el tipo de medio, las distancias, las elevaciones de las antenas, las frecuencias de trabajo, ..., entre otros muchos factores. Por ello, para realizar las simulaciones, el programa EHAS utiliza el software denominado RadioMobile [RM] que implementa, con buenas prestaciones, el modelo de Longley-Rice [HLK82].

Este programa es una herramienta para analizar y planificar el funcionamiento de un sistema de radiocomunicaciones fijo o móvil. Utiliza mapas con datos digitales de elevación del terreno y permite operar en dos modalidades de trabajo: el modo de predicción de área y el modo punto a punto. Este último es capaz de predecir estadísticamente las pérdidas de propagación sobre un trayecto de propagación determinista a partir de los datos característicos de radio y del entorno. El modo de predicción de área opera de forma similar pero no trabaja sobre un trayecto de propagación determinista, sino que genera una proyección del área de cobertura de un terminal dado en función de las características de cada terminal y las irregularidades del terreno.

Mediante este software obtenemos los niveles de señal en distintos puntos, bien de un trayecto utilizable para el cálculo y diseño de radioenlaces en el modo punto a punto o bien la cobertura sobre una zona determinada para el análisis y la planificación de comunicaciones móviles en el modo predicción de área.

3.3.1. Determinación de las especificaciones radioeléctricas

Debemos hacer una distinción de cada una de las tecnologías de la red de acceso y la troncal para comentar las especificaciones radioeléctricas de cada una de ellas.

3.3.1.1. Criterios de diseño para enlaces HF y VHF

Las consideraciones que hay que tener en cuenta, a nivel de señal, para estas tecnologías son:

1. Los enlaces serán viables siempre que el modelo de propagación muestre que la señal recibida es suficiente (20 dB por encima de la sensibilidad). Empíricamente se ha determinado

que en la transmisión de datos debe existir un margen de recepción de 15dB para que los datos se recuperen con facilidad pero el programa EHAS limita este valor a 20 dB ya que una vez que las redes están desplegadas y en funcionamiento se observa una disminución de dicho margen. Pretende ser pesimista durante el diseño mediante RadioMobile para, una vez que las redes estén operativas, los resultados reales obtenidos sean mejores a los simulados.

2. Inicialmente se considerará una atenuación por cableado de 0.06 dB/m, y en casos extremos en que el enlace dependa de ello, de 0.03 dB/m.

3.3.1.2. Criterios de diseño para enlaces WiFi

El uso de una banda de frecuencias u otra depende de varios factores:

- En aquellos entornos urbanos donde pueda haber más redes en 2.4GHz, se recomienda el uso de la banda de 5.8 GHz.
- Es preferible utilizar la banda de frecuencias de 2.4GHz para la red de distribución y la de 5.8GHz para la red troncal, ya que esta última ofrece un mayor ancho de banda. Sin embargo, al usar un rango de frecuencias superior, está expuesta a mayores pérdidas por atenuación. Esto se puede compensar aumentando la altura de las torres aunque acarreará un incremento en el coste de la estación por lo que hay que valorar, para cada caso, las ventajas del uso de una banda u otra.

Los criterios de diseño que debemos considerar son:

1. Aceptaremos un enlace si presenta un nivel de señal en recepción de entre 20 y 25 dB por encima de la sensibilidad del receptor.
2. Los enlaces deberán tener, además de visión directa, un despeje mayor al 60 % del radio de la primera zona de Fresnel. Se prestará especial atención a si los enlaces WiFi atraviesan vegetación teniendo en cuenta que la vegetación que tengamos en la primera zona de Fresnel nos añadirá atenuación.
3. No se tomará en cuenta la altura de las torres para calcular la atenuación, ya que se considerará que los equipos van instalados en cajas estancas junto a las antenas. Se considerarán unas pérdidas fijas por conexiones de 1dB por sistema.
4. Se podrán tener varios sistemas en cascada (conectados por Ethernet) y cada uno podrá tener hasta tres interfaces WiFi, siempre que todas las interfaces radio de un mismo emplazamiento operen en canales no interferentes. Se asume que se pueden emplear hasta 3 canales no interferentes en la banda de 2.4GHz y al menos 8 más en 5.8GHz.

3.3.2. Determinación del equipamiento dependiendo de la tecnología y del tipo de nodo

En esta sección describiremos el equipamiento necesario para cada tecnología y distinguiremos distintos tipos de nodos en cada una de ellas.



Figura 3.3: *Transceptor radio HF.*

3.3.2.1. Tecnología HF

Los sistemas de radio de onda corta HF habilitan comunicaciones a través de terrenos planos, elevados o montañosos, sin la necesidad de dispositivos de retransmisión, como los repetidores ya que la distancia entre estaciones puede ser del orden de cientos de kilómetros. Por lo tanto, estas redes están compuestas únicamente por estaciones cliente que se comunican con una estación pasarela que les permite conexión hacia el exterior.

Al igual que la banda VHF, la banda HF también está destinada a la transmisión de voz y por sus características no es recomendable para la transmisión de datos. El canal HF tiene características (ruido, bajo ancho de banda, ...) que hacen difícil trabajar con él, por lo que los módems de HF hasta ahora han sido extraordinariamente caros o muy lentos (típicamente de 100 a 300 bps para los de radioaficionados).

Por tanto, un nodo pasarela es un nodo dotado de conectividad final a Internet y a la RTC, permitiendo al resto de nodos de la red inalámbrica acceder a través de él a esas redes externas. Puede haber uno o varios de estos nodos en una red inalámbrica. Estos nodos frecuentemente tendrán que desempeñar funciones como NAT o cortafuegos. Por otro lado, un nodo cliente se encuentra en los puntos de servicio a usuarios, establecimientos de salud en el contexto de este trabajo.

3.3.2.1.1. Nodo cliente

Una estación cliente es un nodo final en el que los usuarios pueden utilizar los servicios de la red. El elemento principal en esta estación es el transceptor radio (Figura 3.3) que es el mismo que para la transmisión de datos por lo que, como sólo puede usarse para comunicaciones de voz o datos, en estas estaciones hay que interrumpir la comunicación de voz para poder enviar datos.

Para el caso de las estaciones cliente HF suelen utilizarse antenas dipolo de banda ancha. Estas antenas pueden colocarse en varias configuraciones; lo ideal es que estén completamente horizontales a una altura promedio de 10 metros. Si no existe la infraestructura necesaria para conseguir este propósito, suelen colocarse en forma de V invertida, es decir, con el centro del dipolo ubicado lo más alto posible (deseable 15 m) y los brazos extendidos hacia el suelo. El ángulo entre los brazos debe ser el mayor posible.

Sistema de comunicaciones

Para transmitir datos a través de las radios HF se hace uso de un sistema de comunicaciones que consta de un sistema empujado, una tarjeta para control de radio y una tarjeta de sonido genérica que cuente con conector USB. El ordenador del usuario tiene que conectarse físicamente

con el sistema de comunicaciones a través de un cable de red y éste último a la radio mediante un cable fabricado para el efecto. Además, para posibilitar esta transmisión es necesario conectar la radio al sistema empotrado lo cual se lleva a cabo mediante una tarjeta de sonido y la tarjeta de control de radio (Figura 3.2.1.2).

3.3.2.1.2. Nodo pasarela

Un nodo pasarela HF está situado en la frontera de la red con el exterior. Se compone de un transceptor radio HF y un servidor, al que le llegan las peticiones de forma directa desde el cliente, encargado principalmente de proporcionar los siguientes servicios:

- Conectividad a Internet.
- Servidor de correo para proporcionar cuentas de correo a los usuarios de la red.
- Servidor de gestión de red.

3.3.2.2. Tecnología VHF

En las redes VHF la estación que cuenta con salida al exterior (RTC y/o Internet) (nodo pasarela) puede que no se encuentre en el centro geográfico de la red y por tanto puede estar demasiado lejos de algunas estaciones cliente como para tener comunicaciones de voz y/o datos de buena calidad. Por ello en esta tecnología se utilizan repetidores de voz y de datos.

Aunque esta banda está pensada solamente para la transmisión de voz y, por tanto, los equipos de radio se diseñan y fabrican para ese fin, mediante software se puede conseguir utilizar este medio para comunicaciones de datos. Existen diferentes tipos de herramientas software para la transmisión de datos. Para poder ofrecer ambos servicios, se eligen radios VHF convencionales que se utilizan normalmente para voz, pero que, intermitentemente, pasan a intercambiar datos entre un ordenador cliente y su servidor de referencia.

Por tanto, para lograr comunicaciones de voz y datos sobre redes que utilizan VHF se pueden distinguir diferentes tipos de estaciones: estaciones cliente, repetidores de voz, repetidores de datos y estaciones pasarela.

En VHF se asumirá que los equipos tendrán potencias de transmisión de 40W y sensibilidad en recepción de -120dBm.

3.3.2.2.1. Nodo cliente

Al igual que en la estación cliente de HF, el componente principal para esta tecnología es también el transceptor radio, aunque en este caso estamos hablando de transceptor radio VHF (Figura 3.4). El resto de elementos constituyentes de un nodo cliente HF coinciden para esta nueva tecnología (Figura 3.2.1.2).

Debido a que las estaciones cliente VHF en la mayoría de los casos solamente deben apuntar a una estación pasarela o a un repetidor de voz, se suelen utilizar antenas directivas de 7 dBi aunque también se podrán usar omnidireccionales de 3 y 6 dBi. En cualquier caso es conveniente que las antenas tengan un buen ancho de banda y alta ganancia. Se puede utilizar la misma antena para las comunicaciones de voz y datos.



Figura 3.4: *Transceptor radio VHF*

3.3.2.2.2. Nodo pasarela

La estación pasarela actúa como gestor de las comunicaciones desde y hacia el exterior. Para la comunicación de voz ha de contar con un software que actúe como interfaz entre las siguientes redes: la RTC, la red local de VoIP y la red VHF, con el objetivo de realizar llamadas telefónicas entre ellas³. Así pues, esta estación proporciona una interfaz hacia Internet a los clientes VHF para el uso de correo electrónico. En ella, a partir de un enlace VHF, se reciben las peticiones de los clientes, ya sea de manera directa o a través de un repetidor de datos.

El servidor de la estación pasarela ha de instalarse en un ordenador con capacidad de procesamiento media/alta ya que ciertas aplicaciones lo pueden requerir y no se desea introducir retardo en las comunicaciones con la RTC.

Para la comunicación de voz, se deberá utilizar un transceptor radio distinto al que se usa en la tecnología HF ya que éste no sólo sirve para la conexión con la RTC, sino también para establecer comunicaciones con otras redes vecinas por lo que necesitará un número de canales mayor. Para la comunicación de datos se pueden utilizar los mismos transceptores que en las estaciones cliente. Por lo tanto, en el caso de que en la estación pasarela se instale un servidor que proporcione comunicaciones de voz y datos en VHF, ésta constará de dos radios. Consecuentemente, hace necesaria la instalación de dos antenas, una para la comunicación de cada tipo de tráfico.

Para el acceso al servicio telefónico de los usuarios de radio VHF se utilizará un ATA que cuente con un puerto FXO, necesario para poder conectarse a la red telefónica. Para realizar la pasarela entre la red VHF y la RTC es necesario el uso de una interfaz que administre algunas funciones de la radio, como el PTT y el CSQ (Carrier Squelch). Además, este dispositivo actuará como adaptador de impedancias entre la tarjeta de sonido del servidor y la radio VHF, ya que no se puede conectar directamente debido a la diferencia de niveles de voltaje y corriente. Para enviar y recibir audio de la radio se necesita una tarjeta de sonido compatible con el S.O. que se tenga instalado.

Sistema de comunicaciones

De la misma manera que en las estaciones cliente, las estaciones pasarela también necesitan un sistema de comunicaciones para la transmisión de datos por VHF. En las estaciones pasarela no se usan sistemas empotrados sino ordenadores convencionales (trabajando como servidores). Esa diferencia, hace que la interfaz de comunicaciones de la estación pasarela sea diferente a la

³El servicio de conectar una red de radio VHF con la RTC se llama “phonepatch”. Para contar con este servicio debe tenerse una interfaz que permita unir una red half-duplex (la red de radio) con otra full-duplex (la red de telefonía).

interfaz de la estación cliente, reduciéndose ésta última a sólo dos componentes: tarjeta de sonido y tarjeta de control de radio.

Además, si la estación pasarela se conecta a Internet, el servidor posee una tarjeta de red que se conecta al router instalado por la empresa proveedora del servicio.

3.3.2.2.3. Repetidor de Voz

El repetidor de voz es una estación que permite recibir señales de radio por una frecuencia y retransmitirlas al mismo tiempo por otra. Estas estaciones se usan cuando dos o más clientes de una red de VHF están muy alejados entre sí y, por lo tanto, no se garantiza la calidad de voz en enlaces directos. Para retransmitir simultáneamente son necesarias dos radios como las de las estaciones cliente (una para recibir y otra para transmitir), conectadas por medio de una interfaz llamada RIC (Repeater Interface Controller)⁴ y un duplexor de señal⁵.

Dadas las características de transmisión y recepción de un nodo repetidor de voz, es necesaria la utilización de una antena omnidireccional, ya que los clientes con los que se comunica pueden estar en cualquier punto.

3.3.2.2.4. Repetidor de Datos

La repetición de datos implica el uso de un ordenador que gestione un protocolo de transmisión de datos. Además, mientras la repetición de voz es instantánea, la de datos es diferida.

El repetidor de datos además de servir como servidor de datos al usuario local, permite recibir y retransmitir tráfico que proviene de usuarios remotos. Dado que algunas estaciones cliente no lograrán conectarse a la estación pasarela por las grandes distancias que las separan, se puede necesitar usar uno o varios repetidores de datos en cascada para poder transmitir la información entre ambos.

Los equipos necesarios en un repetidor de datos son: un sistema empotrado con una tarjeta de sonido USB y una pequeña interfaz conectada al puerto de E/S digital para controlar la radio. En esta estación no es necesario un ordenador de sobremesa, dado que su única función es almacenar los datos y reenviarlos más tarde.

Si en un mismo nodo se instalaran repetidores de voz y datos, cada uno de ellos tendrá un conjunto de equipos independientes.

Al igual que en el caso del repetidor de voz suele ser necesario instalar una antena omnidireccional dado que puede recibir datos desde cualquier dirección.

3.3.2.3. Tecnología WiFi

Antes de introducir el equipamiento radio que se utiliza en la tecnología WiFi, haremos unas aclaraciones sobre algunos drivers que permiten modificar parámetros no especificados por el estándar. La presencia de uno u otro driver en los equipos influirá en las decisiones de utilización de los mismos.

⁴El cable RIC sirve para enviar las señales recibidas por el receptor al transmisor (en esa única dirección), y para activar el Push To Talk (PTT) del transmisor.

⁵El repetidor podría funcionar sin el duplexor pero esto implicaría el uso de dos antenas, dos cable coaxiales y elevar la altura de la torre por lo que este dispositivo evita todo esto y brinda mayor comodidad en la instalación.

Dado que para controlar el acceso al medio, se utiliza CSMA/CA y que además todas las transmisiones de datos unicast son confirmadas por el receptor mediante ACKs, el transmisor esperará un tiempo máximo ACKTimeout después de transmitir para recibir la confirmación. Si la confirmación no llega, el transmisor tratará de realizar un determinado número de retransmisiones. Algo similar sucede con el tiempo CTSTimeout cuando se trabaja en modo RTS/CTS. Cuando el tiempo de propagación es considerable (distancias de varios Km) se hace preciso modificar esos parámetros más allá de su valor estándar. Igualmente, el protocolo funciona mal a largas distancias si no adaptamos también otro parámetro llamado SlotTime. En [Sim07] se analiza detalladamente el MAC del estándar y se encuentra solución a las distintas limitaciones para larga distancia a través de la modificación de estos parámetros.

Con relación a esto, actualmente existen dos drivers que se utilizan en Linux y que permiten modificar estos parámetros de forma no estándar, la deshabilitación de ACKs o el ajuste o deshabilitación de retransmisiones. Destacamos:

- Madwifi: Permite modificar el valor de ACKTimeout, CTSTimeout y SlotTime. En las pruebas realizadas en campo se ha comprobado que se mejoraban sensiblemente las prestaciones del enlace al modificar estos parámetros.
- Hostap: En este caso no se pueden modificar los valores anteriores, sin embargo, algunas tarjetas con chipset Prism 2.5 manejadas con Hostap tienen un ACKTimeout mayor (por defecto), de manera que pueden ser usadas con prestaciones aceptables en enlaces largos de hasta 23 Km a 2 Mbps.

3.3.2.3.1. Nodo cliente

Las estaciones cliente son aquellas que se benefician y hacen uso de todos los servicios que la red pone a su disposición. Estos servicios son principalmente: correo electrónico, acceso a Internet y transferencia de archivos entre todos los ordenadores de la red.

Un nodo de acceso está formado por un teléfono IP o, en su defecto, por un teléfono analógico y un ATA, un sistema informático y un sistema de comunicación tal y como se muestra en la Figura 3.5.

Las antenas que se utilizan para realizar un enlace WiFi dependen de la distancia existente al repetidor.

Sistema de Telefonía

A nivel de usuario, el sistema de telefonía consta de un terminal telefónico analógico y un adaptador de teléfono analógico (ATA) (Figura 3.6). Estos dos equipos se pueden sustituir directamente por un teléfono IP aunque, en algunos casos, podría causar dificultades de uso por parte del personal de salud. Además, en caso de avería o rotura, podría ocasionar mayores problemas para su sustitución debido a una mayor dificultad para obtener este dispositivo en el mercado. Utiliza la red de datos para el transporte de tráfico de voz, aplicando protocolos de voz sobre IP (VoIP).

En algunos teléfonos se podrán habilitar servicios adicionales como buzón de voz, llamada a tres, transferencia de llamadas, ...

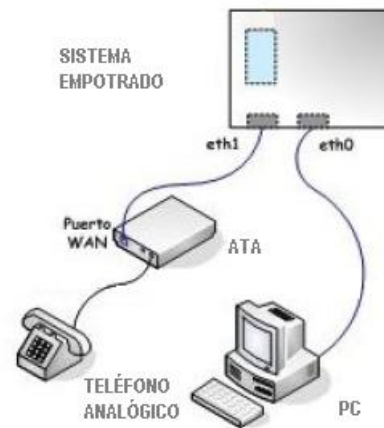


Figura 3.5: Componentes de un nodo cliente.



(a) Terminal Analógico.

(b) ATA.

Figura 3.6: Sistema de Telefonía Analógico.

Si en algún puesto de salud hemos considerado como mejor opción tecnología para el acceso a Internet la conexión satelital debemos tener en cuenta que, además del enlace para el envío y recepción de datos, ofrece acceso directo a la línea telefónica.

Sistema Informático

Los usuarios finales, para hacer uso de herramientas ofimáticas y para interconectarse con otros usuarios a través del correo electrónico o aplicaciones web, utilizan un conjunto de equipos. Se definen dos modelos de sistemas informáticos:

- Cliente: consta de un ordenador completo con monitor, teclado, ratón e impresora en caso necesario.
- Servidor o CPU: consta de una placa de ordenador y el software necesario para dotarla de los servicios de correo electrónico y de telefonía IP.

Sistema de comunicaciones

Consiste en una tarjeta compact flash en la que va instalado un sistema operativo diseñado ad-hoc con todas las herramientas necesarias para el encaminamiento. Esta tarjeta se inserta sobre un enrutador inalámbrico o sistema empotrado optimizado en tamaño y consumo que dispone de una o varias ranuras para la conexión de las tarjetas inalámbricas. Las tarjetas inalámbricas alimentan a antenas de diferentes tipos.

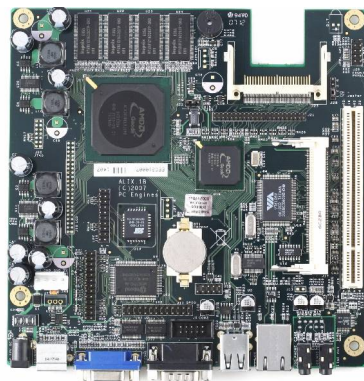
Algunas de las posibilidades existentes para la elección de los enrutadores inalámbricos pueden ser Alix, Soekris o Mikrotik (Figura 3.7). En algunos modelos de los Soekris se puede disponer de tres interfaces inalámbricas y proporcionan mejor robustez ante condiciones climáticas adversas.

La elección de tarjetas WiFi se basará en parámetros tales como la potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, temperatura y humedad soportadas en operación, así como chipset incorporado. La ventaja de las tarjetas con driver Madwifi, como ya hemos dicho, es la posibilidad de ajustar varios parámetros del MAC que mejorarán las prestaciones en los enlaces de larga distancia. La sensibilidad según el modelo de tarjeta inalámbrica elegida variará entre -96 dBm y -93 dBm para velocidades de 2Mbps en la banda de 2.4GHz y -94 dBm para tasas de 6Mbps en la banda de 5.8GHz. Algunas tarjetas utilizadas por EHAS pertenecen a las marcas Ubiquiti (Figura 3.8) y Mikrotik (Figura 3.9). En [Ubi] y [Mik] se pueden consultar las especificaciones técnicas de cada una de ellas.

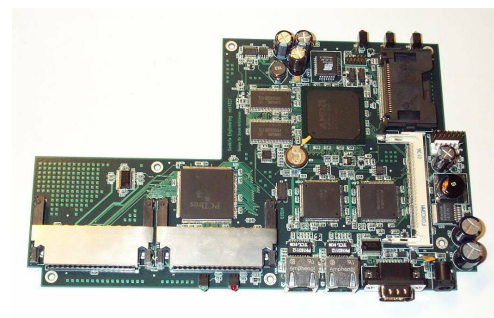
Elegiremos un tipo de antena u otro dependiendo de la frecuencia de uso y la directividad. A 2.4GHz se podrán usar antenas directivas de 24dBi para enlaces punto a punto y antenas sectoriales de 17dBi, con sectores de 90° o 120°, o antenas omnidireccionales de 15dBi para enlaces punto a multipunto. En WiFi a 5.8GHz se usarán antenas directivas de 27 o 29dBi y sectoriales de 17 dBi con sector de 90°.

Deberemos seleccionar los equipos que se incluirán en la red teniendo en cuenta las limitaciones de potencia; es decir, la potencia que es legal transmitir en cada país. Además, tendrán que cumplir los estándares internacionales.

En WiFi, se emplearán potencias de transmisión de 0.2W para distancias menores de 25Km, y de 0.4W para distancias mayores.



(a) *Alix.*

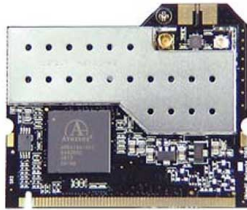
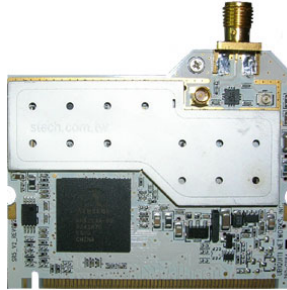
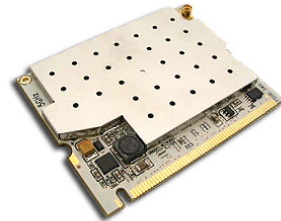
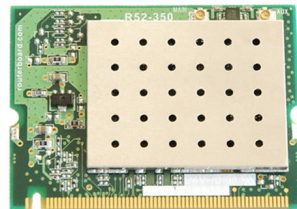


(b) *Soekris.*



(c) *Mikrotik.*

Figura 3.7: *Sistemas Empotrados.*

(a) *SuperRange2.*(b) *SuperRange5.*(c) *SuperRange CardBus.*(d) *XtremeRange2.*(e) *XtremeRange5.*(f) *CM9.*Figura 3.8: *Tarjetas Ubiquiti.*Figura 3.9: *Tarjeta Mikrotik R52H.*

Si en el diseño se considera que las placas, tarjetas, . . . van instaladas en cajas estancas junto a las antenas de las torres, estas cajas deberán ser impermeables e incluirán un sistema de protección que se adecúe a condiciones climatológicas propias de la región en la que se instalen (por ejemplo, extremas de temperatura y humedad). Para alimentar las placas se puede hacer uso de un sistema PoE consiguiendo llevar en un único cable UTP datos y energía.

La conectividad entre el sistema de comunicación y los de telefonía IP y datos se logra a través del router instalado en el establecimiento de salud. Por tanto, habrá que conectarle el cable UTP de la antena que baja por la torre, el ATA y los ordenadores, cliente o servidor.

3.3.2.3.2. Nodo pasarela

Como los servidores instalados en los enrutadores de los repetidores no manejan eficientemente archivos de sonido, los servicios de voicemail y conferencia los administra el servidor instalado en la estación pasarela. Además, en ésta se encuentran las herramientas software y hardware encargadas de la comunicación con la RTC.

Esta estación se compone de los mismos equipos que forman una estación cliente WiFi a excepción del ATA y se encargará de proporcionar los mismos servicios de los que hablábamos en el caso de HF y VHF.

3.3.2.3.3. Nodo troncal

Los repetidores son equipos que interconectan las estaciones cliente, ubicados en los cerros o en posiciones elevadas para así poder repetir la señal hacia estaciones finales u otros repetidores con los que han de tener línea de vista. Un repetidor está enlazado con un grupo de estaciones a la vez que se interconecta con otros repetidores formando la red troncal y por tanto, es el nodo encargado de conmutar comunicaciones con otros nodos.

Sistemas Informáticos

En un nodo de la red troncal tendremos un servidor como en el caso del nodo cliente cuya función es dotarlo del servicio de correo electrónico.

Sistema de comunicaciones

De nuevo, el elemento principal en este sistema es el enrutador inalámbrico cuya función es recibir información proveniente de otro enrutador por una de sus interfaces (inalámbrica o Ethernet) y transmitirla por otra interfaz hacia otro enrutador o estación final.

Está compuesto por los mismos elementos que el sistema de comunicación de un nodo cliente WiFi. Por ello, consiste en una tarjeta compact flash, en la que va instalado un sistema operativo diseñado ad-hoc con todas las herramientas necesarias para el encaminamiento, insertada en sistema empujado que dispone de una o varias ranuras para la conexión de las tarjetas inalámbricas que alimentan a antenas de diferentes tipos. La elección de la antena depende de la ganancia necesaria de la misma para poder realizar el enlace y de la frecuencia en la que se va a trabajar.



Figura 3.10: *Colocación de equipos en torres.*

3.3.3. Localización y altura de antenas y repetidores

La altura de las torres vendrá en función de las necesidades de los enlaces a los que sirve y de la elevación del terreno en el que se vaya a ubicar. Dado el elevado coste de las torres, que además es proporcional a su altura, siempre trataremos de que sean lo más bajas posibles; por ello, en el diseño de la red empezaremos a considerar desde 2 m de altura e iremos elevando hasta conseguir los objetivos de visibilidad, nivel de señal, etc. en los enlaces que involucren a ese emplazamiento.

Como puede observarse en la Figura 3.10 las antenas deben ser instaladas en el último tramo o en los últimos tramos de la torre. Tras ellas se instalarán los equipos de enrutamiento que van en cajas metálicas y a una distancia de entre 1 y 1.5 m por debajo de las antenas. Por debajo de estas cajas, a una distancia de entre 1 y 3 metros estarán la caja de la batería y los soportes de los módulos solares. La colocación de la batería a una distancia más cercana al suelo permite que al realizar alguna tarea de mantenimiento en la torre no se presenten grandes dificultades de acceso [Aea08].

Si en el proceso de diseño no se pudiera establecer como viable la comunicación directa entre sistemas que deben comunicarse, se considerará necesaria la instalación de repetidores; siempre que sea posible, se tratará de no colocarlos en lugares alejados de cualquier núcleo habitado para así evitar problemas de accesibilidad con material y además aumentar la seguridad física de los equipos frente a posibles robos. Si esto no es posible, se preferirán ubicaciones en las que ya existan otros repetidores.

3.4. Especificación del sistema de soporte mecánico

El primer elemento que conforma la infraestructura propia de un nodo es la torre, en el caso de que la haya, debido a que se requiera mucha elevación o, en caso contrario, se suelen utilizar mástiles. La torre debe de servir de soporte para el montaje de las antenas, el pararrayos y el panel solar.

Normalmente, el programa EHAS utiliza torres ventadas para realizar sus enlaces debido a que suele ser la opción óptima teniendo en cuenta las condiciones climatológicas características de las zonas en las que trabaja y los costes. Otras opciones son las torres autosoportadas y los monopolos deben tomarse en consideración principalmente cuando se dispone de poca superficie para la base, no se requiere de una gran flexibilidad estructural y el ambiente es corrosivo (salitre, ...). Hasta ahora, el programa EHAS ha trabajado siempre con torres ventadas de hasta 96 metros.

Las torres siempre deberán ser calculadas para cada emplazamiento específico, teniendo en cuenta las condiciones de entorno, los sistemas que van a cargarla y su altura, y se debe diseñar preservando un margen de seguridad. Es conveniente sobrecalcular la altura de las torres aunque luego se instale la altura calculada, para que tanto la sección como la cimentación estén previstas ya ante la eventualidad de que sea necesario elevar la torre más de lo previsto en tiempo de instalación; esto puede suceder si la previsión de la altura necesaria no era correcta por fallos en los planos de elevaciones o en los cálculos de propagación.

3.5. Dimensionamiento del sistema de suministro eléctrico

Podemos encontrarnos ante emplazamientos que no cuenten con ningún sistema de abastecimiento eléctrico y que otros estén sujetos a un suministro externo muy variable.

En los emplazamientos sin abastecimiento se deberán instalar sistemas autónomos de suministro de energía solar fotovoltaica diseñados para proporcionar energía suficiente de forma continuada. Este sistema deberá tener todos los elementos para alimentar en DC nuestro equipo de comunicaciones [Aea08] (Figura 3.11):

1. Panel solar: Son los elementos captadores de la energía del Sol y están compuestos de materiales semiconductores. Dichas placas absorben los fotones de la radiación solar y los transforman en una corriente de electrones de forma continua, es decir, en energía eléctrica de señal continua.
2. Baterías: Normalmente la corriente generada no es consumida en el acto, por lo que es necesario almacenarla en un bloque de baterías para que esté disponible cuando resulte necesaria. La inmensa mayoría de las baterías están formadas por unos electrodos de plomo inmersos en una solución electrolítica (agua con ácido sulfúrico). De entre éstas, existen dos tipos de baterías principalmente:
 - Monobloque: similares a las de un coche. Son más económicas pero tienen un mantenimiento más complejo, y una menor duración.
 - Estacionarias: que resultan más apropiadas para estos sistemas ya que su durabilidad es mayor, aparte de que ofrecen mayor versatilidad. Se pueden conectar en serie, con lo cual se obtienen voltajes diversos.

Es siempre necesario recargar la batería antes de que llegue al 80 % de descarga, ya que se estropea en caso contrario. La batería será instalada siguiendo las recomendaciones del fabricante. En cualquier caso, deberá asegurarse que se situará en un lugar ventilado y con



Figura 3.11: *Suministro eléctrico basado en placas solares.*

acceso restringido y que se adoptarán las medidas de protección necesarias para evitar el cortocircuito accidental de los terminales del acumulador, por ejemplo, mediante cubiertas aislantes.

3. Regulador: Controla la entrada de electricidad en la batería, protegiéndola contra sobrecargas o bajadas de tensión, que puedan dañarla. Los modelos más avanzados tienen capacidad de poner en marcha el generador para producir electricidad cuando la batería corre riesgo de descarga total, que también la estropearía.
4. Inversor: Es el encargado de la conversión de la corriente continua producida por el campo fotovoltaico en corriente alterna. Suele ser el encargado de poner en marcha el grupo generador. El inversor será capaz de entregar la potencia nominal de forma continuada, en el margen de temperatura ambiente especificado por el fabricante. Además, debe arrancar y operar todos los dispositivos que queramos alimentar con el sistema solar, especialmente aquellas que requieren elevadas corrientes de arranque.

Debido a la falta de energía estable, el dimensionamiento del número de paneles solares en cada emplazamiento viene determinado por la carga que ha de soportar cada uno de ellos. La carga está dada por los equipos que deberán colocarse en cada emplazamiento y el tiempo de uso para los diferentes estados (transmisión, recepción, idle, ...). Además, en función de este consumo y tiempo de uso se dimensionará también la capacidad del banco de baterías y la corriente máxima que deberá soportar el regulador. En [Aea08] se identifican cinco modelos de consumo de energía que pueden ser útiles para realizar el dimensionamiento anteriormente citado.

Teniendo en cuenta que la relación carga/descarga (también llamada factor de corrección) es la relación entre la generación y el consumo diarios de energía; para el dimensionamiento de los sistemas de generación de energía se tendrá en cuenta una relación mayor a 1.2 en el caso de estaciones cliente, repetidoras y pasarela mientras que en las estaciones con enrutadores inalámbricos, esta relación carga/descarga será mayor a 1.3⁶.

Para realizar el cálculo del generador y el de la capacidad del banco de baterías además de ver las características principales que han de cumplir el módulo fotovoltaico, las baterías, el controlador de corriente, el inversor y las luminarias se puede consultar [Aea08].

⁶Si la relación, idealmente, fuese 1 sería suficiente para que las baterías siempre estuvieran al 100% de su carga, pero debe ser mayor considerando las ineficiencias de los equipos y las pérdidas en el cableado.

Figura 3.12: *Pararrayos.*

3.6. Diseño del sistema de protección eléctrica

En cualquier diseño e instalación de una red se hace necesario la implementación de un sistema de protección eléctrica que garantice la seguridad. Esto es así ya que en determinadas zonas en las que están ubicados los emplazamientos, pueden ocurrir fenómenos eléctricos de origen atmosférico que, en gran medida, afectarán al correcto funcionamiento de los equipos instalados en cada puesto. Por tanto, los objetivos del sistema de protección eléctrica son proteger y dar seguridad para la vida humana, para los aparatos electrónicos y asegurar el buen funcionamiento de los equipos tras el fenómeno.

La caída de rayos es el principal problema que se presenta en zonas de selva y de alta montaña. La descarga de rayos directos, rayos que impactan en las cercanías o rayos que caen sobre las líneas de suministro de energía y que, por lo tanto, entran en los establecimientos, pueden producir efectos transitorios de alto voltaje y alta corriente.

Como actualmente no existe ninguna tecnología que por sí sola pueda eliminar el riesgo de los rayos y sus transitorios, es necesario un sistema integral que se encargue de capturar la descarga atmosférica, derivar el rayo hacia tierra de forma segura, disipar la energía a tierra y proteger los equipos contra los efectos transitorios.

En general, el punto más vulnerable en una descarga directa de rayo se encuentra en la parte superior de una estructura. La torre metálica o las antenas que sobresalen de la estructura son las partes más susceptibles de recibir la descarga. La forma de capturar la descarga atmosférica es utilizando un pararrayos (Figura 3.12). Una vez que el rayo es capturado, es necesario trasladar la corriente de descarga hacia tierra. Para ello se suelen utilizar cables de cobre desnudo de 50 milímetros cuadrados, que bajan aislados de la estructura de la torre mediante separadores laterales.

Cuando se produce una descarga eléctrica ocasionada por un rayo, se crean campos electromagnéticos que inducen corrientes en las superficies conductoras próximas. En el caso de las antenas, las corrientes se pueden generar en el cable coaxial y dañarían los equipos. Para evitarlo se utilizan protectores de línea que se colocan entre el cable coaxial y los equipos electrónicos del sistema de radio. Cuando el protector de línea detecta un cambio de voltaje importante, deriva la corriente a tierra mediante uno de sus terminales que se encuentra conectado al sistema de puesta a tierra.

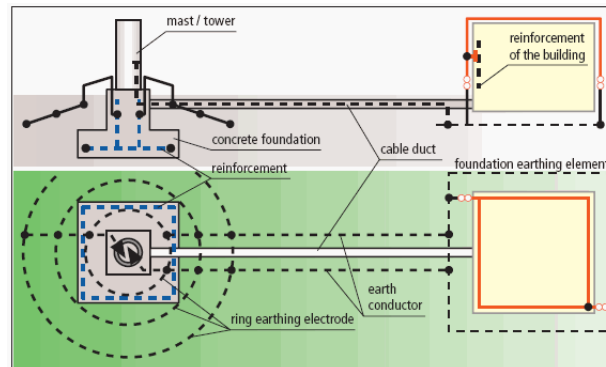


Figura 3.13: *Sistema de Puesta a Tierra.*

Cuando la carga del rayo se transfiere a tierra o a una estructura puesta a tierra, se neutraliza. La capacidad de la tierra de aceptar la energía depende de la resistencia del suelo en dicha localización [Aea08].

3.7. Diseño del sistema de puesta a tierra

A la hora de diseñar un pozo de puesta a tierra debemos tener en consideración varios factores (Figura 3.13):

- Resistencia deseada del pozo. Para sistemas de comunicación se recomiendan resistencias de puesta a tierra por debajo de los 2Ω . Debido a la dificultad de obtener este valor, el programa EHAS trabaja con resistencias por debajo de los 10Ω en todas sus redes.
- Resistividad del terreno medida mediante un Telurómetro [Gon].
- Dimensiones requeridas del pozo.

Para realizar el cálculo de la resistencia del pozo y la resistividad del terreno se puede consultar [Aea08].

3.8. Redacción del documento técnico con listado de materiales y planos de instalación de los sistemas

Una vez que se han llevado a cabo todos los puntos anteriores de la metodología hay que realizar un documento en el que se justifiquen todas las decisiones tomadas, se listarán los materiales necesarios detallando la cantidad de cada uno de los elementos para implantar la red y se aportarán los planos de instalación de todos los sistemas implicados.

3.9. Cálculo del presupuesto

El último paso es la realización del presupuesto estimado para la instalación de la red de telecomunicaciones. En él habrá que incluir, al menos, las siguientes partidas de costes directos:

1. Gastos de personal: Número de personas que se necesitan para la instalación de la red.
2. Gastos de movilidad y transporte: Se ha de tener en cuenta el tiempo estimado de traslado entre cada centro y puesto de salud así como el medio de transporte que se utilizará y los costes promedio que su uso conllevará (gasto de combustible, gasto de alquiler, gasto por los kilos transportados, ...).
3. Gastos en equipos: Habrá que tener en cuenta los costes de los equipos de los sistemas radio, informático, telefónico, de protección eléctrica, mecánico y energético. En primer lugar se definirá la cantidad de equipos necesarios para cada establecimiento y consecuentemente se calculará para toda la red. Después se definirá el coste unitario de cada equipo y finalmente se calculará el total.
4. Gastos en servicios: En el caso de que sea necesario la utilización del sistema VSAT para la salida a Internet habrá que tener en cuenta el coste de contratación e instalación de éste. Además habrá que incluir el coste mensual por el uso del servicio por cada establecimiento.
5. Gastos de utilidad: Habrá que considerar el tanto por ciento de ganancia que obtendrá la empresa encargada de la instalación de los sistemas.

Capítulo 4

Metodología y Herramientas

4.1. Metodología

Para cumplir con el objetivo propuesto en la sección 1.2 realizamos un análisis exhaustivo de cada una de las fases de la metodología tradicional del programa EHAS. Desde la primera hasta la novena realizamos un estudio de los puntos que deben ser optimizados, apoyándonos también en el histórico de las redes (en una parte documentado y en otra a través de las personas integrantes del programa).

4.1.1. Metodología específica para la realización de un experimento con el fin de asegurar el aislamiento mutuo entre estaciones WiFi con múltiples interfaces radio

4.1.1.1. Problemática

En algunas de las redes desplegadas por el programa EHAS se detectó que el throughput entre dos nodos A y C con un salto intermedio(B) era menor que para el caso del primer nodo(A) con el nodo intermedio ya citado. Esto hizo que comenzasen a plantearse posibles causas a este hecho centrándose en la infraestructura del nodo intermedio por el que pasaba la información. La principal idea del motivo por el que se producía este fenómeno surgió al analizar la posición y distancia entre sí de las tarjetas y antenas en las torres ventadas.

Además de este caso concreto producido en las redes EHAS, algunos estudios han demostrado que las interferencias entre radios y antenas causan una caída de throughput considerable [Cea06a] [Iea] [Rea] [Lea05]. Por ello, en la subsección que sigue a continuación se detalla la metodología del experimento realizado para determinar la separación horizontal entre placas que contienen tarjetas inalámbricas CM9 y SR2 utilizadas por EHAS.

4.1.1.2. Método

Para llevar a cabo el experimento con el que determinar la distancia de separación horizontal que debe haber entre dos radios colocadas en la misma torre (ya sea en el mismo sistema empujado o en dos distintos separados una distancia determinada) para evitar las interferencias que ambas provocan en la otra, diseñamos dos escenarios (Figura 4.1). El primero de ellos (Figura 4.1(a)) consta de 3 nodos (emisor, repetidor y receptor) en el que el nodo intermedio tiene ocu-

padas sus dos interfaces radio por tarjetas inalámbricas tal y como se puede apreciar en la Figura 4.7. En el escenario mostrado en la Figura 4.1(b) tenemos 4 nodos (emisor, repetidor 1, repetidor 2 y receptor). En este caso, todas las placas tienen ocupada una sólo de sus dos interfaces radio por una tarjeta inalámbrica (Figura 4.8).

En las Figuras 4.2(a), 4.2(b), 4.3(a) y 4.3(b) se muestran los dos escenarios tal cual se montaron en el laboratorio.

En las compact flash hemos instalado la distribución 0.5.2 del sistema operativo GNU/Linux Voyage (basado en GNU/Linux Debian) con driver Madwifi 0.9.4 para arrancarlo desde las placas WRAP 1E. Para ello hicimos uso del manual [Foc].

Tras ello, a continuación escribimos los scripts que necesitábamos almacenar en las compact flash de cada nodo. Éstos fueron:

- interfaces: Fichero que configura las interfaces de red de cada nodo y que se sitúa en la carpeta `/etc/` en las distribuciones usadas.
- tabla_rutas: Script que configura las rutas requeridas por el escenario para su correcto funcionamiento. Se instala en `/etc/init.d/`, se le dan permisos de ejecución con `“chmod +x tabla_rutas”` y se establece su ejecución en el arranque de la máquina con `“update-rc.d tabla_rutas defaults”`.
- nombre: Script que establece el hostname de la máquina. Se instala en `/etc/init.d/`, se le dan permisos de ejecución con `“chmod +x nombre”` y se establece su ejecución en el arranque de la máquina con `“update-rc.d nombre defaults”`.
- emisor: Script que lanza un ITGSend controlado de forma remota (Apéndice A.3.3).
- receptor: Script que lanza un ITGRecv en background (Apéndice A.3.4).
- matar: Script que mata los procesos del D-ITG en ejecución (Apéndice A.3.5).

Posteriormente, programamos en shell script las funciones que necesitábamos para llevar a cabo el experimento teniendo en cuenta las variables que decidimos medir para establecer el impacto sobre el throughput. El código de los scripts se puede consultar en el Apéndice A. Las variables de las que hablábamos y a partir de las cuáles se analizó el nivel de interferencia producido fueron:

- *Frecuencia*: Las 2 radios entre las que se pretende observar la interferencia se sitúan en canales WiFi con separación de canales 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 en 802.11g y en 149, 153, 157 y 161 en 802.11a.
- *Distancia*: Las 2 radios (de repetidor 1 y repetidor 2) entre las que se pretende observar la interferencia en el escenario con 4 nodos se van separando de 20 en 20 centímetros.
- *Banda de frecuencia*: Los experimentos se realizan tanto para la banda de 2.4GHz como para la banda de 5.8GHz de WiFi.
- *Potencia de transmisión*: Se realizan pruebas con tarjetas CM9 (17 dBm de potencia máxima) y SR2 (26 dBm de potencia máxima) probando:

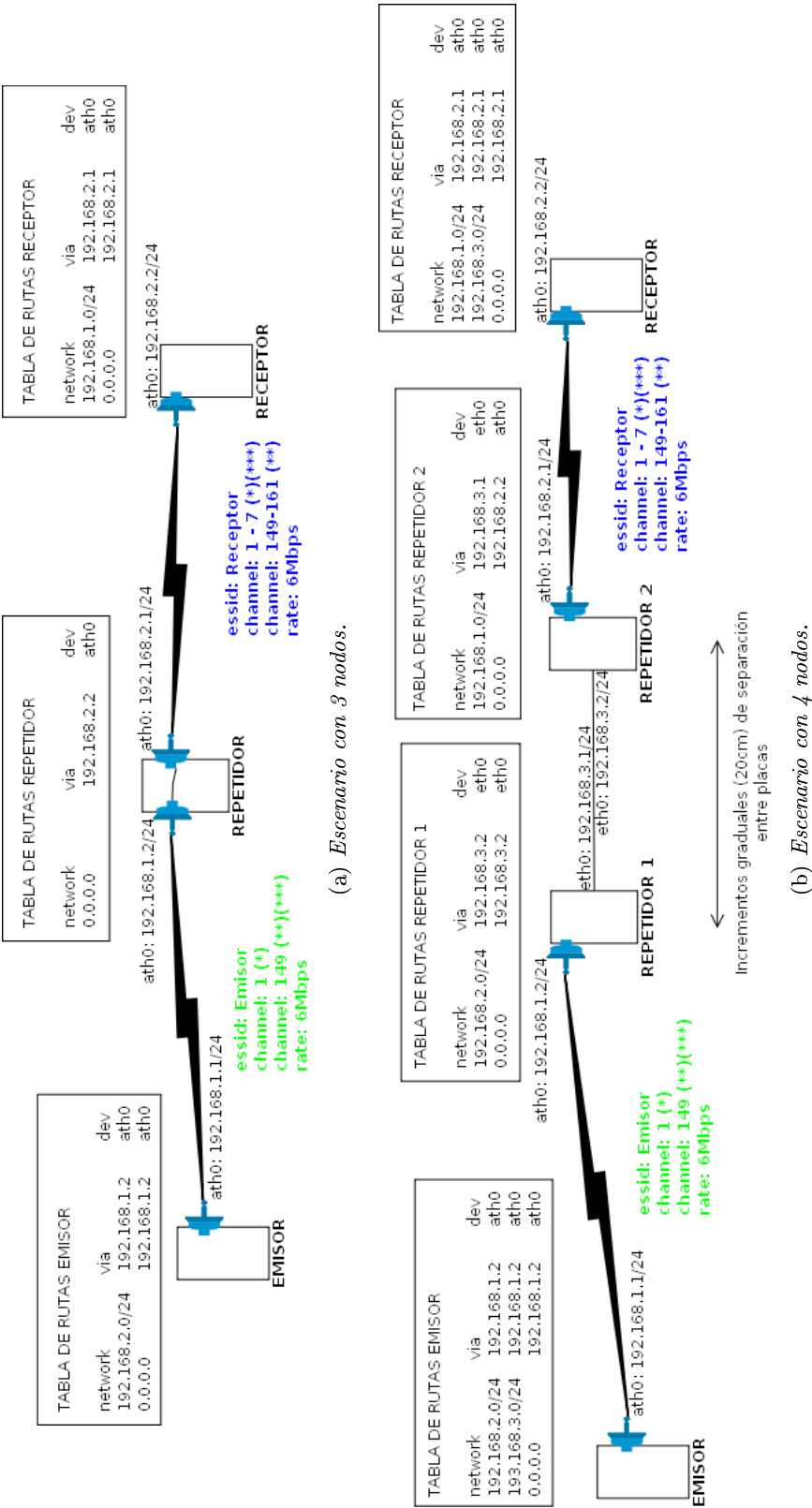
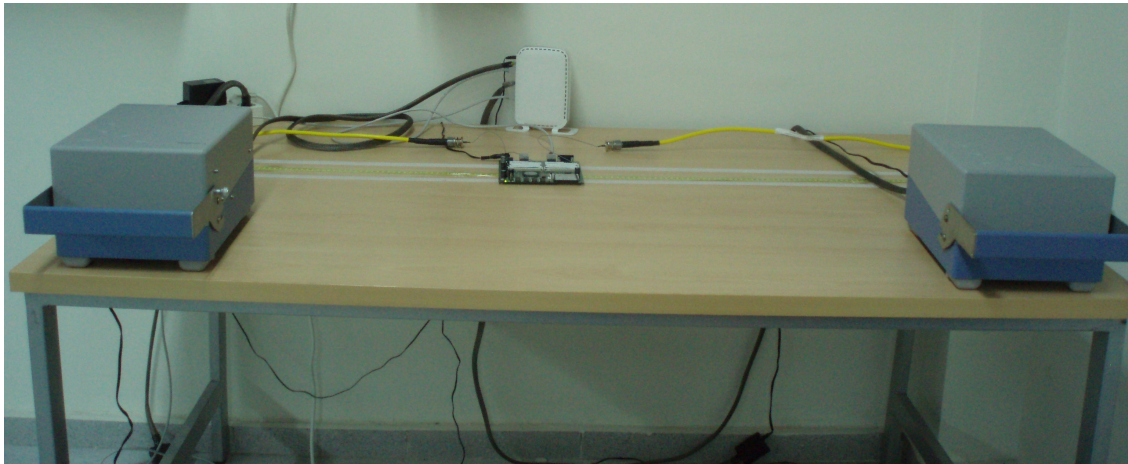
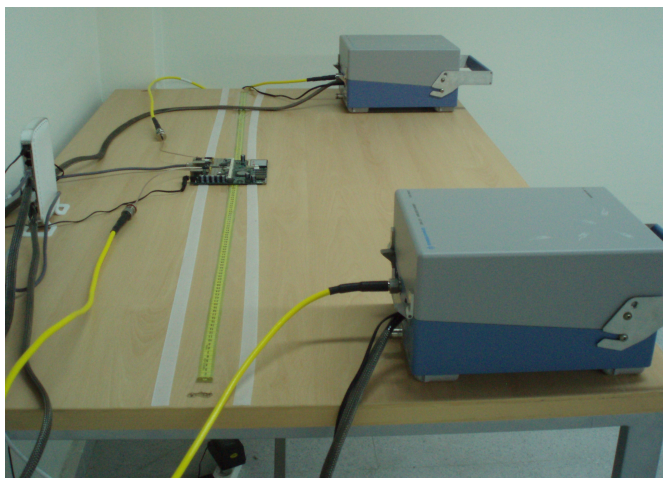


Figura 4.1: Diseño de los escenarios del experimento de aislamiento mutuo entre interfaces radio.

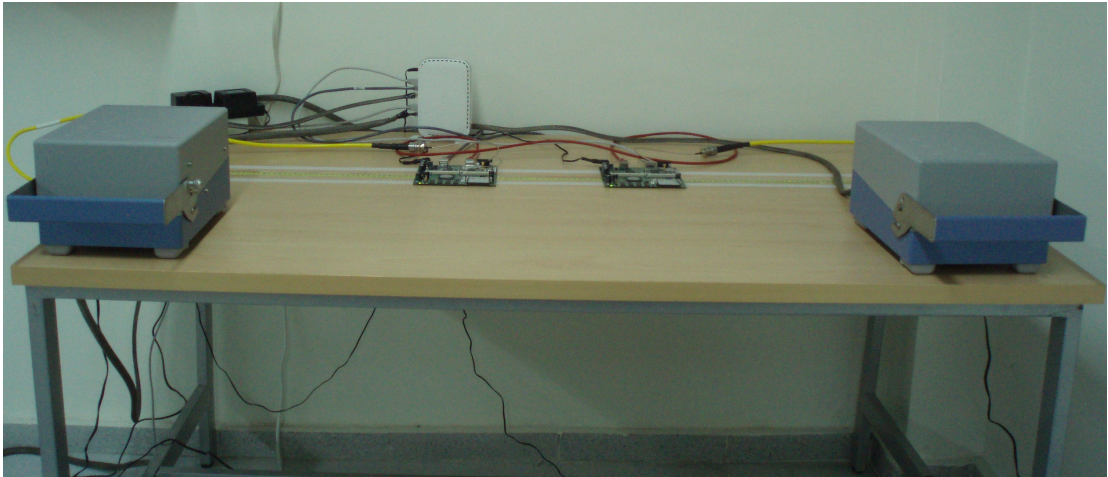


(a) *Escenario con 3 nodos (Vista frontal).*

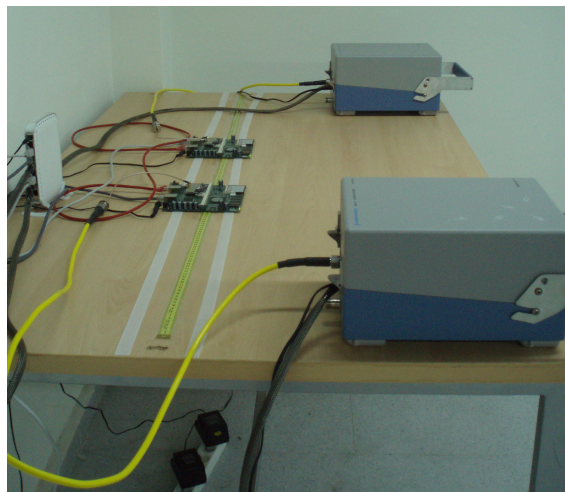


(b) *Escenario con 3 nodos (Vista lateral).*

Figura 4.2: *Escenario con 3 nodos montado para llevar a cabo el experimento de aislamiento mutuo entre interfaces radio.*



(a) *Escenario con 4 nodos (Vista frontal).*



(b) *Escenario con 4 nodos (Vista lateral).*

Figura 4.3: *Escenario con 4 nodos montado para llevar a cabo el experimento de aislamiento mutuo entre interfaces radio.*

1. Mediciones con tarjetas CM9 en todos los nodos (Aquí incluimos para el escenario de 3 nodos, dos tarjetas en las dos interfaces de repetidor y para el escenario con 4 nodos, una tarjeta en cada nodo).
2. Mediciones con tarjetas SR2 en todos los nodos (Explicación idem al punto anterior).

Dado que las tarjetas SR2 sólo funcionan para la banda de frecuencias de 2.4GHz, el efecto de variación de la potencia sobre las interferencias entre radios, sólo se observará para esta banda de frecuencias.

Estos scripts varían automáticamente el canal utilizado en una de las 2 radios entre las que se pretende observar la interferencia y realizan mediciones entre todos los nodos de la red troncal para poder obtener la caída media de throughput en cada nodo, y ver así el efecto de la interferencia. Las distancias escogidas para las mediciones en el escenario con 4 nodos fueron 0, 20, 40, 60, 80 y 100 centímetros.

Para que los scripts funcionasen correctamente, era necesario que existiera una máquina con acceso a todos los nodos de las mediciones por vía Ethernet y que tuviese sus hostnames introducidos en su fichero `/etc/hosts` con la dirección IP pertinente además de que se utilizasen los comandos `ssh-keygen -t dsa` y `ssh-copy-id -i <clave_publica><usuario>@<ip_nodo>` para generar claves públicas de acceso entre todos los nodos (incluida la máquina donde se lanzan las mediciones) y copiarlas entre sí, posibilitando el acceso por ssh sin necesidad de interacción por parte del usuario. Por ello, utilizamos un equipo de la Universidad para que hiciese esta función de tal forma que con ello los scripts podían recoger información de otros nodos de forma automática sin preguntar la contraseña.

Para generar tráfico en el experimento, usamos una nueva herramienta llamada D-ITG (Distributed Internet Traffic Generator) que es mucho más potente que el “iperf” tradicional y de la que hablamos en la subsección 4.1.1.2.1.

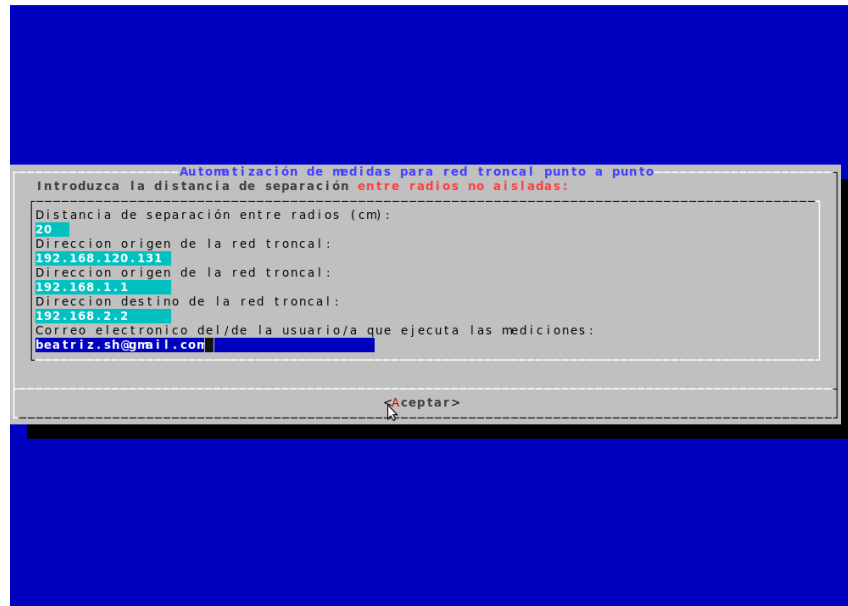
Antes de lanzar las mediciones debemos lanzar el componente ITGLog del D-ITG que es el binario que lanza en una máquina un servidor de logs; es decir, accederemos a la ruta donde se encuentre ITGLog y lo lanzaremos en background escribiendo en el terminal `./ITGLog </dev/null &`. Posteriormente, accederemos al directorio donde tengamos almacenados los scripts que realizan las mediciones y en este caso ejecutamos `./lanzador.sh` que es un script que pregunta los parámetros necesarios para llevar a cabo las pruebas a través de un interfaz dialog (Figura 4.4).

4.1.1.2.1. D-ITG

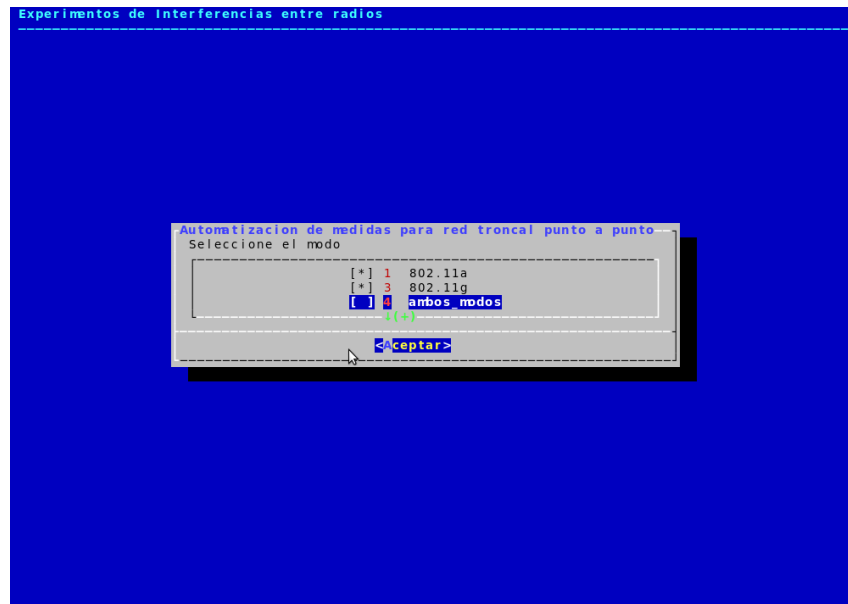
La herramienta D-ITG es útil para realizar pruebas específicas en segmentos de redes remotos desde una estación de gestión central de tal forma que proporciona una manera rápida y eficiente de localizar y resolver problemas, de realizar numerosas pruebas sobre dispositivos en prueba y planificaciones de capacidad.

Actualmente está disponible tanto para Linux¹ como para Windows y puede ser descargado en [wDI]. Los protocolos soportados son: TCP, UDP, ICMP, DNS, Telnet, VoIP (G.711, G.723, G.729, Detección de Actividad de Voz (VAD), RTP Comprimido (cRTP)) aunque también están

¹D-ITG funciona también en PDAs con el Sistema Operativo Linux Familiar.



(a) Interfaz dialog para introducir la distancia, las direcciones IPs y el correo electrónico de la persona que realiza las pruebas.



(b) Interfaz dialog para seleccionar los modos que queremos probar.

Figura 4.4: Interfaz dialog para lanzar las mediciones.

trabajando en la implementación de los protocolos de aplicación SMTP, HTTP, FTP, P2P, SNMP y MPEG.

D-ITG pretende emular sistemas de red complejos a través de la generación de tráfico paquete por paquete. Un flujo de tráfico se especifica a través del tiempo entre salida de paquetes (IDT), que es el tiempo transcurrido entre la transmisión de dos paquetes, y el tamaño de paquete (PS) que es la cantidad de datos que se transfieren en el paquete.

Gracias a esta información se crea un modelo de protocolo de tráfico. Ambos procesos (IDT y PS) se modelan a partir de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas: constante, uniforme, exponencial, Pareto, normal, Cauchy, Gamma, ... Debido a la gran gama de procesos estocásticos soportados es posible reproducir una mezcla amplia de tráficos.

Una de las características más interesantes de D-ITG es la posibilidad de reproducir exactamente el mismo experimento seleccionando la misma semilla de los valores de los procesos estocásticos IDT y PS; por ello, D-ITG prevé la generación de semillas. Además se pueden llevar a cabo medidas con retardo unidireccional (OWD) o bidireccional (RTT), evaluación de pérdida de paquetes y medidas de throughput y de jitter.

Otra característica innovadora de D-ITG es la posibilidad de almacenar información tanto en el emisor como en el receptor y, adicionalmente, en remoto. Además, D-ITG permite tanto al emisor como al receptor delegar las operaciones de logging a un servidor de logs remoto, lo que puede ser útil si el receptor tiene una capacidad de almacenamiento limitada y a la vez hay que analizar la información de los logs.

La comunicación entre el emisor y el receptor se lleva a cabo a través de un canal de señalización que implementa un nuevo protocolo para la configuración del experimento de generación de tráfico que se denomina Traffic Specification Protocol (TSP). Además, el emisor puede ser controlado remotamente usando el API de ITG.

D-ITG está capacitado para alcanzar altas tasas de datos tanto en el emisor como en el receptor. Particularmente, en un ambiente local (emisor y receptor sobre la misma plataforma Linux) la tasa máxima de datos es 511 Mbps en ambos lados de la comunicación mientras que en un ambiente distribuido (emisor y receptor sobre dos plataformas de Linux distintas) la tasa máxima es de 612 Mbps en el emisor y 611 Mbps en el lado del receptor.

En el Apéndice B explicamos el funcionamiento de este generador de tráfico ya que se trata de una herramienta nueva para el programa EHAS.

4.2. Herramientas

En esta sección detallaremos las herramientas que hemos utilizado para optimizar la metodología de EHAS. Cada una de ellas se utiliza en un paso concreto de dicha metodología y para solventar un tipo de problema determinado.

4.2.1. Entrevistas con el personal del programa EHAS

El primer material utilizado para el desarrollo de este trabajo fueron entrevistas personales con el director, el director técnico, la responsable de WiFi/QoS, el responsable de WiMAX, la responsable del mantenimiento de redes y el responsable de administración de sistemas. Todos, y

cada uno de ellos en su campo de trabajo, informaron a la proyectante sobre sus papeles dentro del programa. A continuación, compartieron información sobre algunos de los proyectos que se han llevado a cabo y le transmitieron fallos o carencias detectadas dentro de su área de operación.

4.2.2. Consulta de bibliografía y documentación relacionada con la temática

A continuación, gracias a la documentación aportada y aconsejada por los miembros del programa, comenzó a recabar información sobre el contexto de las zonas rurales en países en vías de desarrollo, los proyectos realizados y documentación concerniente a las fases de la metodología seguida por el programa EHAS y los proyectos TIC de cooperación al desarrollo de otras organizaciones.

4.2.3. RadioMobile

En el capítulo anterior dijimos que EHAS utiliza el software RadioMobile para el diseño de sus redes. Este programa utiliza, para la evaluación de los enlaces, el perfil geográfico de las zonas de trabajo; es decir, hace uso de cartografía digital. Los datos de elevación que emplea se utilizan para producir mapas virtuales en relieve. Además permite superponer una imagen en relieve con otro mapa escaneado, foto de satélite, ...

Los mapas están basados en el sistema DTED (Digital Terrain Elevation Data) y el programa puede acceder a resoluciones de 1, 3 o 30 segundos de arco. Como podemos apreciar en la Tabla 4.1 los segundos de arco (arcsecond) se definen como la separación entre registros del mapa. Un segundo de arco tiene correspondencia con el grado sexagesimal de la siguiente forma:

$$1 \text{ segundo de arco} = \frac{1}{3600}^\circ \quad (4.1)$$

Así pues, para el cálculo de la resolución de los mapas deberemos hacer el siguiente cálculo:

$$\text{Superficie} = \text{Radio de la Tierra} \cdot \sin(\text{Grados sexagesimales de el/los arcosegundo/s}) \quad (4.2)$$

Entonces, para los mapas SRTM3, considerando el radio de la Tierra igual a 6378 Km, tendremos:

$$\text{Resolución SRTM3} = 6378000 \cdot \sin \frac{1}{1200} = 92,8 \text{ m}^2 \quad (4.3)$$

Existen datos de elevación disponibles de casi todo el mundo en distintos formatos [For] [Geo]. Actualmente, RadioMobile puede tratar mapas de datos tipo GTOPO30, GLOBE, SRTM y DTED Level 0 a 30 segundos de arco, SRTM y DTED Level 1 a 3 segundos de arco, SRTM y DTED Level 2 a 1 segundo de arco y BIL en cualquier resolución (Figura 4.5)³. Usualmente se van a considerar mapas del tipo DTED Level 0 y SRTM.

²En toda la documentación encontrada, siempre se hace referencia a 100m como resolución de los mapas SRTM3 y, por tanto, se trata de una aproximación.

³La NASA y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón, conocido como METI, han diseñado un nuevo mapa topográfico digital: ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model) [Ast], creado a partir de casi 1,3 millones de imágenes estéreo recogidas por el radiómetro japonés llamado ASTER (Advanced

Resolución	Separación (m)
1 segundo de arco	30
3 segundos de arco	100
30 segundos de arco	1000

Tabla 4.1: *Resolución de los mapas que utiliza RadioMobile.*

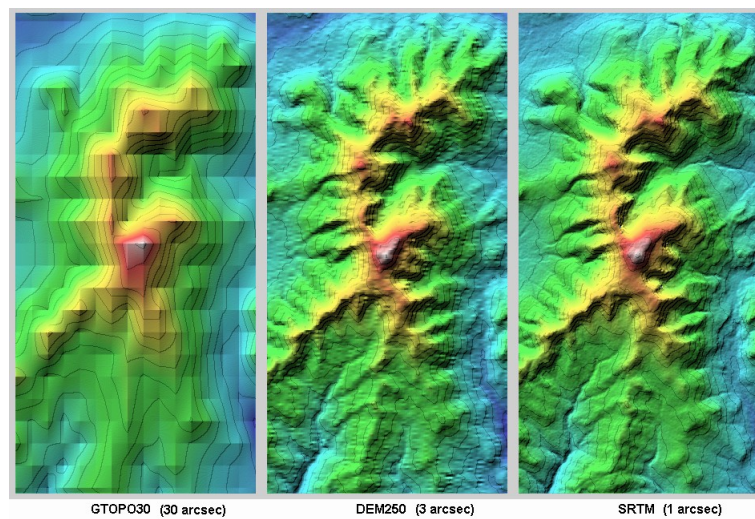


Figura 4.5: *Mapas con los que trabaja RadioMobile.*

Si se quiere ahondar en el manejo de RadioMobile se pueden consultar diferentes fuentes de información [GdR07] [Gar06]. En el Capítulo 6 mencionaremos ciertas funcionalidades de la herramienta buscando optimizarlas ya que hasta el momento no se habían considerado ciertos aspectos del programa.

4.2.3.1. Modelo de Propagación Longley-Rice

RadioMobile se basa en el modelo de propagación Longley-Rice. La expresión teórica 4.4 de las pérdidas de propagación en espacio libre se puede usar siempre que se tenga asegurada la línea de vista “despejada” (primera zona de Fresnel libre en un 60 % en todo el trayecto) y que no se tengan en cuenta efectos como el multitrayecto. La experiencia demuestra que los efectos del entorno geográfico y las condiciones climáticas pueden causar un resultado real sensiblemente peor que el teórico. Por ello, se puede tener una mejor aproximación a la realidad empleando el modelo Longley-Rice combinado con mapas digitales de elevaciones y con un cuidadoso ajuste de sus parámetros [HLK82].

$$Lp(dB) = 92,45 + 20\log f(GHz) + 20\log d(Km) \quad (4.4)$$

El modelo Longley-Rice es un modelo de radio propagación de propósito general cuyo rango de operación en frecuencia está comprendido entre 20 MHz y 20 GHz. Entrega como resultado el valor medio de la atenuación de la señal de radio como una función de la distancia y la variabilidad de la señal en el tiempo y espacio, permitiendo estimar las características de recepción de la señal necesarias en un radio enlace concreto sobre terreno irregular [DCO]. En [Huf] se explica en detalle el algoritmo del modelo de terreno irregular (ITM) por lo que realizando un estudio exhaustivo de este documento podemos entender cómo estima algunas de las características del nivel de señal recibido para un enlace radio.

Las variables de entrada del modelo se indican en la Tabla 4.2.

4.2.4. Laboratorio de comunicaciones inalámbricas

La Universidad Rey Juan Carlos ha puesto a disposición de la proyectante todo el material necesario para llevar a cabo un experimento con el que se quería determinar la distancia horizontal mínima a la que se deben colocar dos radios coubicadas en la misma torre.

Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) y distribuido a partir del 29 de Junio de 2009. Este radiómetro es uno de los cinco instrumentos de observación de la Tierra que viajan a bordo del satélite americano Terra, lanzado en diciembre de 1999. ASTER recoge las imágenes del espectro visible y también las regiones de longitud de onda de las radiaciones térmicas infrarrojas, con resoluciones espaciales que van desde unos 15 a 90 metros (los puntos de elevación del terreno han sido medidos cada 30 metros). Hasta ahora, el mapa topográfico más completo era el ofrecido por la Shuttle Radar Topography Mision de la NASA pero el ASTER GDEM amplía la cobertura del 80 % de dichos mapas a un 99 %, entre los 83 grados de latitud Norte y los 83 grados de latitud Sur. Actualmente la NASA está trabajando para combinar los datos de ASTER con los de la SRTM y otras fuentes y así poder producir un mejor mapa topográfico mundial. Según Woody Turner, científico de la NASA y uno de los miembros más destacados de la misión Aster, “los datos globales que proporcionará este mapa serán muy útiles para los investigadores de una amplia gama de disciplinas (ingeniería, protección y gestión del medio ambiente, proyección de obras públicas, prevención y extinción de incendios, ...) que necesitan información geográfica detallada”; por tanto, si RadioMobile lo implementa puede ser de gran ayuda para el programa EHAS.

Parámetros del sistema	
Frecuencia	20 MHz a 20 GHz
Distancia	1 km a 2000 km
Altura de antenas	0.5 m a 3000 m
Polarización	Horizontal o Vertical
Parámetros del entorno	
Variable de terreno irregular	Rugosidad promedio
Constantes eléctricas del terreno	Permitividad y conductividad
Refractividad de la superficie	250 a 400 N-unidades
Clima	Tipo de clima
Parámetros de instalación	
Criterio de posicionamiento	Random, Careful o Very careful
Parámetros estadísticos	
Fiabilidad respecto a variabilidad de tiempo, locación y situación	0.1 % al 99.9 %

Tabla 4.2: *Variables de entrada del modelo Longley Rice.*

4.2.4.1. Materiales

A continuación detallaremos el equipamiento usado para cada uno de los nodos implicados:

- EMISOR y RECEPTOR (Figura 4.6):

1. Placa WRAP 1E.⁴
2. Tarjeta Inalámbrica de baja potencia (CM9) y de alta potencia (SR2).
3. Pigtail adecuado para las dos tarjetas usadas.
4. Compact Flash takeMS de 1G.
5. Cable de alimentación de la placa con apantallamiento para evitar interferencias por radiación eléctrica.
6. Cable ethernet para conectar la placa a un router y así poder acceder a ella desde el exterior.
7. Cámara anecoica.
8. Cable coaxial para conectar las cámaras anecoicas con los pigtails de la/las tarjeta/s inalámbrica/s del repetidor en el escenario con 3 nodos y del repetidor 1 y repetidor 2 para el escenario de 4 nodos.

- REPETIDOR (Escenario 3 Nodos) (Figura 4.7):

1. Placa WRAP 1E.
2. 2 Tarjetas Inalámbricas de baja potencia (CM9s) y de alta potencia (SR2s).
3. 2 Pigtails adecuados para las dos tarjetas usadas.
4. Compact Flash de 4G.

⁴El motivo de usar placas WRAP ya no comercializadas ha sido por una intención de descubrir los niveles de throughput concretos alcanzables sobre este hardware, debido a que el programa EHAS tiene este hardware instalado en algunas regiones remotas de la selva peruana.



Figura 4.6: *Cámara anecoica donde introducimos los nodos colocados a los extremos (emisor y receptor).*

5. Cable de alimentación de la placa con apantallamiento para evitar interferencias por radiación eléctrica.
 6. Cable ethernet para conectar la placa a un router y así poder acceder a ella desde el exterior.
- REPETIDOR 1 y REPETIDOR 2 (Escenario 4 Nodos) (Figura 4.8):
 1. Placa WRAP 1E.
 2. Tarjeta Inalámbrica de baja potencia (CM9) y de alta potencia (SR2).
 3. Pigtail adecuado para las dos tarjetas usadas.
 4. Compact Flash de 4G.
 5. Cable de alimentación de la placa con apantallamiento para evitar interferencias por radiación eléctrica.
 6. Cable ethernet para conectar la placa a un router y así poder acceder a ella desde el exterior.
 7. Cable ethernet para conectar ambas placas.

Además de todo este equipamiento/material utilizamos una cinta métrica para medir la separación horizontal entre las placas y velcro para fijarlas en su posición una vez separadas.

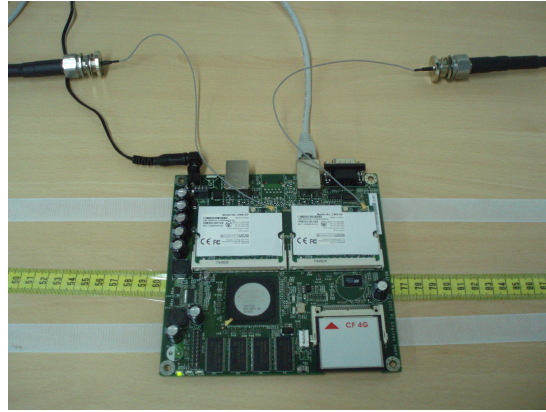


Figura 4.7: *Repetidor para el escenario de 3 nodos.*

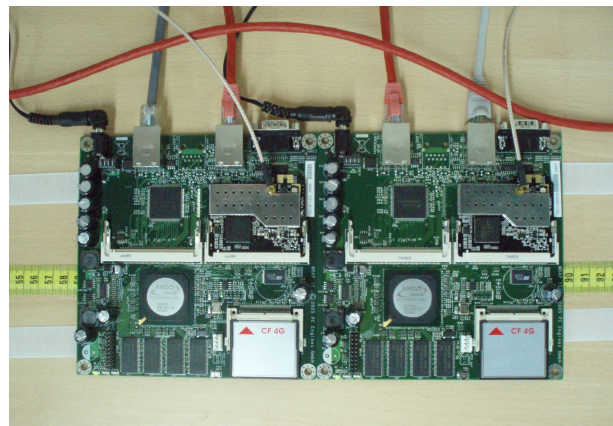


Figura 4.8: *Repetidor 1 y Repetidor 2.*

Capítulo 5

Análisis sistemático de las carencias metodológicas

Anteriores experiencias sobre el terreno han permitido conocer los puntos más débiles (tecnológicamente hablando) de las redes desplegadas por el programa EHAS: problemas graves en los sistemas de protección contra descargas atmosféricas; velocidad excesivamente baja; alta humedad para el uso de ordenadores portátiles; excesiva complejidad por la configuración manual de servidores; únicamente comunicaciones de voz con establecimientos con el sistema EHAS. Por ello, en este capítulo detectamos fases que no se llevan a cabo y que deberían ser consideradas además de aquellas que deben ser rediseñadas para optimizar la metodología del programa EHAS.

5.1. Ausencia de un estudio de viabilidad ex-ante de los proyectos

Hasta ahora, EHAS no ha llevado a cabo ningún análisis de viabilidad a priori de sus proyectos lo que provocaba, en ocasiones, que una vez que el proyecto estaba implantado no era completamente sostenible y, transcurrido un tiempo, EHAS no acababa de lograr desligarse completamente de él.

5.1.1. Definición de viabilidad

El análisis y juicio de la viabilidad nos coloca en dos momentos evaluativos diferentes:

1. La viabilidad ex ante o a priori, realizada durante la formulación de la intervención y
2. La sostenibilidad ex post o viabilidad a posteriori, ya terminada la acción programada.

En la realización de proyectos en zonas rurales que utilizan las TIC, cada vez se considera más importante la viabilidad a posteriori de los bienes y sistemas instalados. Se pretende establecer los criterios y planes de trabajo que permitan que las redes de voz y datos que se instalaron logren mantenerse operativas a lo largo del tiempo y al menor coste posible teniendo en cuenta la realidad institucional de los establecimientos de salud.

La viabilidad se debe considerar desde los inicios del proyecto (por ello, la viabilidad ex-ante), y especialmente, se han de tener en mente los factores que influyen sobre ella. Se deben evaluar las

actividades que se van a llevar a cabo con el fin de mejorar la calidad de la intervención, colaborar en la asignación de recursos (eficacia) y notificar los logros de la intervención (responsabilidad). En el caso de la viabilidad a posteriori, convendría analizar este criterio no sólo al poco tiempo de finalizado el proyecto, sino en un plazo medio o largo.

5.1.2. Evaluaciones de un proyecto

La evaluación es una función que consiste en hacer una apreciación, tan sistemática y objetiva como sea posible, de la eficiencia, eficacia, impacto, pertinencia y viabilidad de un proyecto de cooperación al desarrollo [Eva]. Cumple tres funciones básicas:

- Detectar desviaciones en los resultados obtenidos en los proyectos, programas o políticas de cooperación para el desarrollo y tratar de corregirlas,
- Aprender para mejorar futuros proyectos y
- Difundir la actividad desarrollada entre autoridades públicas y población en general.

Dependiendo del momento en que se haga, se pueden considerar tres tipos de evaluación:

1. Ex-ante (previa al inicio de la ejecución del proyecto): útil para considerar la conveniencia de poner en marcha o descartar un proyecto. Puede ser de gran ayuda emplear para esta evaluación el marco de trabajo de proyectos de TIC en países en vías de desarrollo propuesto por la UNCTAD en 2006. En el Apéndice C se especifican los términos de este marco.
2. Continua (durante la ejecución del proyecto): Adecuada para garantizar que se está trabajando en la línea correcta o en caso contrario tomar las medidas correctoras que sean oportunas. Permite ajustar las intervenciones y los objetivos “sobre la marcha”. Además en esta fase, con el fin de garantizar una adecuada transferencia tecnológica hacia los beneficiarios, se deberán comenzar labores de capacitación tecnológica por parte de personal cualificado. Con ello se pretende, que una vez estén instalados todos los sistemas, los beneficiarios tengan un conocimiento y control de todos los aspectos a tener en cuenta para lograr que las redes se mantengan operativas a lo largo del tiempo (mantenimiento correctivo y preventivo, capacitación de usuarios, asesoría y atención de dudas y consultas a distancia, ...).
3. Ex-post (una vez finalizado el proyecto): Un año o dos después de concluido el proyecto se puede ver cuál es la situación alcanzada y los distintos factores que la explican. Es decir, una vez que la red está totalmente desplegada y los usuarios la están utilizando de forma normal, se debe evaluar la satisfacción final de éstos con los sistemas implantados. Además, se deberá comprobar que todos los sistemas funcionan en la forma y medida que deberían para optimizar los recursos de la red. De este tipo de evaluación se pueden extraer conclusiones muy útiles para planificar intervenciones futuras.

Los cinco criterios de evaluación de proyectos TIC en países en vías de desarrollo son los que aparecen a continuación, entre los que está la viabilidad anteriormente explicada:

- **Eficacia:** Es el criterio más utilizado en las evaluaciones que van realizando las ONGD y es el más plausible de realizar, más sencillo, al limitarse a contrastar la situación antes del proyecto y después de concluida la intervención. La formulación bajo el enfoque del marco lógico lo facilita. Pero quizá también resulte la información menos valiosa. La experiencia demuestra que si los beneficiarios han intervenido activamente en su identificación y formulación, si no hay cambios políticos o institucionales negativos y con un buen cálculo presupuestario, los proyectos resultan eficaces.
- **Eficiencia:** Respecto a este criterio, lo primero que hay que destacar es que quizá sea, junto a los impactos, el criterio que aporte mayor valor añadido a la evaluación y a la organización. Se trata de conocer la cuantificación de la eficacia respecto a los costes de oportunidad de haber invertido los recursos del proyecto en otro alternativo.
- **Pertinencia:** Análogamente a la eficacia, la pertinencia pesa más sobre la evaluación ex-ante o sobre la etapa de identificación y formulación de proyectos. Este nuevo criterio trata de responder a la cuestión de si la intervención realizada respondió a una necesidad real de la población, que propició verdaderamente su desarrollo humano. El contexto es pues, muy subjetivo y será esencial el nivel de conocimiento, diálogo, grado de intervención de los beneficiarios en la identificación y formulación de la acción, así como la fluidez en la comunicación entre las partes a lo largo de la ejecución.
- **Viabilidad.**
- **Impacto:** Se trata de describir y cuantificar todos los impactos o efectos que la intervención ha provocado: directos e indirectos, deseados e indeseados, previstos e imprevistos. Y sobre un conjunto tan amplio de variables como el medio ambiente, los impactos políticos, culturales, económicos, comunitarios, sociales o de género. La valoración de los impactos aparece como lo más costoso, largo y complejo de todo el proceso evaluador, pero también lo más útil. Aporta la información más relevante para tomar decisiones, para acumular aprendizajes y buenas prácticas. En definitiva, es el proceso de evaluación más puro. Una buena evaluación de impacto debe permitir a la ONGD obtener sinergias y conocimientos sobre la reproductibilidad de sus proyectos, de sus fines, medios, metodologías, tiempos y actores.

5.1.2.1. Única evaluación ex-post sobre el Proyecto EHAS-@lis

En el año 2007, el programa EHAS, con responsabilidad de Ingeniería Sin Fronteras, llevó a cabo la primera y única evaluación ex-post sobre el Proyecto EHAS-@lis [VC07] que se centró en el aprovechamiento de la infraestructura instalada para la mejora de la atención sanitaria. En cuanto a este proyecto, existió una alta aceptación del mismo en las tres zonas de intervención (Cauca, Guantánamo y Cuzco¹) y en todos los niveles (autoridades nacionales, gerencias locales

¹En la bahía de Guantánamo la red comenzó a estar operativa en mayo de 2006 y constaba de doce estaciones en el municipio de El Salvador. La red de telecomunicaciones de Cuzco estaba formada por dos ubicaciones centrales en la ciudad de Cuzco y once ubicaciones periféricas. Comenzó a estar operativa en marzo de 2006. En el departamento del Cauca en Colombia se desarrolló el proyecto en tres municipios de la costa del Pacífico y se instalaron estaciones EHAS en un total de 12 ubicaciones (dos hospitales y nueve puestos de salud).

de salud y personal de asistencia de periferia) pero la cobertura del proyecto no fue suficiente para tener un impacto significativo en los sistemas locales de salud (el total de establecimientos en cada una de las zonas de intervención no supera el 40 % de una red de salud), aunque sí se produjeron cambios muy importantes en los establecimientos individuales. Además los usuarios consideraron que el impacto general del proyecto fue positivo.

Algunos de los aspectos analizados fueron el impacto sobre la gestión de salud, el personal de salud, la capacidad resolutive, el impacto económico, institucional y las políticas locales y nacionales relacionadas con telemedicina y la aceptación y sostenibilidad tecnológica e institucional.

La mejora en la gestión de salud y la capacidad resolutive de los establecimientos de la periferia fue el objetivo específico del proyecto. Se seleccionaron los procesos más críticos y se buscó la mejora de los mismos (referencia-contrarreferencia² de pacientes, segunda opinión para la resolución de dudas clínicas de diagnóstico o tratamiento, intercambio de informes administrativos o clínicos y gestión de la información de stock de medicamentos).

En cuanto al impacto en el personal de salud, se disminuyó la sensación de aislamiento profesional y personal de los trabajadores de salud. Consideraban que los sistemas habían mejorado sus condiciones de trabajo lo que contribuía favorablemente a la implicación de éstos en la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

El principal impacto económico del proyecto fue la reducción de costes de funcionamiento en algunos de los establecimientos de salud, pero esto no se vio de forma generalizada. En todos los casos analizados, los ahorros que se generaban eran mayores a los gastos de mantenimiento estimados por establecimiento. Se comprobó una reducción en el número de viajes para el envío de informes lo que redujo el presupuesto anual destinado a tal efecto. También se ahorró en fotocopias, teléfono, correo postal y soportes magnéticos.

El primer impacto en el ámbito institucional fue el mejor seguimiento de la actividad de los establecimientos de la periferia desde las ubicaciones centrales (gerencia). Además se notó una cierta mejora en la capacidad organizativa de las redes de salud (el trabajo de rediseño participativo de procesos de gestión sirvió para que el personal de salud fuese más consciente de dichos procesos y para que se cumpliesen mejor los procedimientos existentes antes del proyecto). En algunos casos, el proyecto recuperó la atención y preocupación de los niveles gerenciales a temas como las infraestructuras de comunicación en general, el mantenimiento de equipos y las relaciones con otros actores locales.

El impacto en las políticas de salud no pudo ser cuantificado dado el poco tiempo de funcionamiento del proyecto pero se esperaba un cambio en las directrices de los respectivos Ministerios de Salud para reproducir la experiencia en otras zonas o que a la hora de adquirir equipamiento de telecomunicaciones, se considerasen el tipo de sistemas empleados en el proyecto. Aún así, el impacto fue muy diferente en cada uno de los tres países dependiendo de sus situaciones particulares.

Una vez analizados los impactos, enumeraremos las percepciones de los usuarios y gerentes locales sobre ellos:

²La referencia de un paciente es el traslado de su atención desde un establecimiento a otro de mayor nivel resolutive (generalmente desde su centro de salud al hospital correspondiente) mientras que la contrarreferencia se corresponde con el regreso de la atención al establecimiento de origen.

1. Ahorro de tiempos en el trabajo y en el traslado urgente de pacientes.
2. Mejora en la atención a los pacientes.
3. Reducción de viajes.
4. Posibilidad de capacitación continua.
5. Acceso a información.
6. Posibilidad de consultar dudas.
7. Reducción de riesgos durante los traslados urgentes.

Los aspectos negativos encontrados realizando talleres con los usuarios fueron:

1. Interrupción de los servicios.
2. Insuficiente capacitación.
3. Insuficiente mantenimiento.

En cuanto al análisis de sostenibilidad, éste se dividió en aceptación del proyecto, análisis del sistema de mantenimiento, sostenibilidad institucional y política.

La aceptación depende de que los beneficiarios consideren pertinente el proyecto, valoren positivamente sus impactos, estén motivados con los cambios y cuenten con los recursos necesarios para dedicarlos a la continuación de la actividad iniciada por el proyecto. Como ya digimos anteriormente, existió una alta aceptación del proyecto en las zonas de intervención, tanto por parte del personal de asistencia a la periferia como del personal gerencial, que se reflejó en:

- Altos grados de satisfacción general con la calidad de los sistemas de comunicación.
- Valoraciones positivas sobre la facilidad de uso.
- Motivación con las capacitaciones informáticas (aunque se solicitaba más apoyo).
- Amplia gama de usos espontáneos en los pocos meses de funcionamiento.
- Importantes niveles de uso.
- Favorables valoraciones de los actores locales sobre el impacto del proyecto.
- Manifestaciones positivas de los usuarios sobre el impacto en la sensación de aislamiento en sus condiciones de trabajo.

En este proyecto se identificaron cinco componentes que determinaban la capacidad de los sistemas locales de salud para realizar un adecuado mantenimiento (sostenibilidad tecnológica): la organización del sistema de mantenimiento³, la formación informática de los usuarios, la capacidad de los técnicos de mantenimiento, la accesibilidad a la tecnología empleada y el sistema

³Capacidad institucional para gestionar el mantenimiento y contar con un plan que defina los procedimientos organizativos necesarios para el mantenimiento, definición de roles, fijación de estándares de calidad, ...

de financiación del mantenimiento. De forma general, el sistema de mantenimiento de las tres zonas de intervención no estaba suficientemente desarrollado en el momento de la evaluación por lo que ello comprometía en mayor medida la sostenibilidad del proyecto.

Además, en las tres áreas de intervención, las entidades receptoras contaban con las competencias necesarias para llevar a cabo de forma autónoma las actividades organizativas, de gestión y de liderazgo (sostenibilidad institucional), pero no eran suficientes y se necesitaba un acompañamiento externo que reforzase ese componente durante un tiempo.

Con referencia a la sostenibilidad política, en ninguna de las zonas hubo signos de oposición al proyecto. Las actitudes fueron favorables o, en el peor de los casos, indiferentes. Con ello, se determinó que no había amenazas políticas a la sostenibilidad futura de la iniciativa. Había una situación favorable ante las posibilidades de reproducción del proyecto en Cuzco pero no así en el Cauca y Guantánamo.

5.1.3. Delimitación de deficiencias

A pesar de los resultados favorables de la evaluación ex-post del proyecto EHAS-@lis, comentados en la subsección anterior, existen evidencias de fallos en aspectos relacionados con la viabilidad. El primero de ellos es que se suele tardar bastante tiempo, tras la finalización de un proyecto, en que los beneficiarios interioricen como suyas las redes desplegadas y consigan responsabilizarse y mantenerlas autónomamente. Así pues, no se ha conseguido una transferencia tecnológica adecuada. La segunda deficiencia detectada es que los usuarios finales no saben emplear el 100 % de los servicios instalados y además no están capacitados para realizar las tareas de mantenimiento y óptima usabilidad de los sistemas. Esto hace, que el proceso de capacitación de los beneficiarios (durante y después de la realización del proyecto) sea insuficiente e incluso deficiente.

5.2. Problemas en la obtención de las coordenadas de los establecimientos de salud

En algunas ocasiones podemos encontrarnos con problemas para la obtención de las coordenadas debido a la falta de esta información por parte de los organismos que deberían tenerla. Se puede dar el caso de que, a pesar de obtenerlas por uno o diversos organismos, éstas no sean exactas y nada fiables. Esto es lo que ocurrió en la red del Cuzco⁴ en la que hubo que reubicar varios repetidores ya que en el momento en el que se procedió a la instalación, había obstáculos en esas localizaciones [Gar06].

Por ello, surge la necesidad de obtener las coordenadas geográficas exactas de cada uno de los establecimientos de salud implicados en las redes.

⁴Proyecto EHAS-@LIS (2003-2005) cuyas zonas de actuación fueron: Departamento de Cusco en Perú, Costa Rica y Departamento del Cauca en Colombia y en Guantánamo en Cuba y cuyo objetivos eran demostrar la capacidad de mejora del sistema público de atención primaria de salud de las zonas rurales de los países de América Latina a través del uso de tecnologías apropiadas de comunicación y servicios de acceso a la información e instalar 36 sistemas de comunicación de voz y datos en establecimientos de salud rurales, desarrollo de servicios de formación a distancia y mejora de los procesos de vigilancia epidemiológica, gestión de medicamentos y transferencia de pacientes.

5.3. Posibilidad de utilización de tecnologías nuevas para el diseño de la red de acceso y la red troncal

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) se ha promocionado como el estándar inalámbrico de banda ancha del futuro. Muchos proveedores de servicio de Internet (WISPs) que utilizan IEEE 802.11 están considerando invertir en soluciones basadas en WiMAX pero no están seguros de lo que puede ofrecerles y a qué precio. La respuesta a la pregunta ¿WiFi o WiMAX? dependerá de las necesidades que se tengan [Esc08]. Actualmente, el programa EHAS tiene abierta una línea de investigación al respecto para determinar si es viable la utilización de esta tecnología en sus redes.

Además, estudios sobre redes de acceso dinámico al espectro radioeléctrico, redes inteligentes conocidas como redes de Radio Cognitiva [MM08] plantean la utilización de los canales libres del espectro asignado por licencia a Televisión (en torno a los 800 MHz) para brindar acceso de banda ancha a áreas rurales y remotas.

5.3.1. 802.16: WiMAX

El grupo IEEE 802.16 fue fundado en 1998 con el objetivo de desarrollar un estándar de banda ancha inalámbrica (W-MAN (Wireless Metropolitan Area Network)). Inicialmente estaba enfocado al desarrollo de un sistema punto-multipunto con línea de vista para operar en la banda de 10 a 66 GHz. El estándar resultante, presentado a finales de 2001 y denominado “Wireless MAN-SC”, especificaba para la capa física (PHY) una modulación monoportadora y para la capa de control de acceso al medio (MAC), multiplexación por división en el tiempo (TDM).

Seguidamente, el Grupo presentó el 802.16a; estándar que nació como enmienda al estándar original. Esta revisión, incluía aplicaciones que no requerían línea de vista (N-LOS) y que operaban en las bandas de 2 a 11 GHz. Dicha variante, especificaba una PHY basada en la multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM), lo que permitió un buen desempeño en ambientes donde se presentaban fenómenos de reflexiones múltiples, y agregaba a la MAC la posibilidad de una subcanalización a través del acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA).

Para el 2004, revisiones posteriores concluyeron en un nuevo estándar llamado IEEE 802.16-2004, el cual reemplazó a todas las versiones anteriores y formó las bases para la primer solución WiMAX (Figura 5.1). Dicha solución apuntaba a aplicaciones fijas.

En diciembre del 2005, el grupo IEEE finalizó y aprobó el IEEE 802.16e-2005, como una enmienda al estándar anterior del 2004, el cual dio sustento al concepto de movilidad. Este estándar formó las bases para aplicaciones nómadas y móviles [CH08].

Con estos cambios, las especificaciones IEEE 820.16 se convirtieron en un grupo de estándares con un muy amplio alcance. A fin de ajustarse a las diversas necesidades de la industria, el estándar incorporó una gran cantidad de opciones. El IEEE desarrollo las especificaciones pero delegó en las industrias la tarea de convertirlo en un estándar interoperable.

Centrándonos en 802.16-2004, el estándar define las especificaciones de las redes fijas inalámbricas de acceso metropolitano (WMAN). La capa MAC está especialmente diseñada para la modalidad de punto a multipunto (una estación base (BS) gestiona a varios clientes (SS)), y que

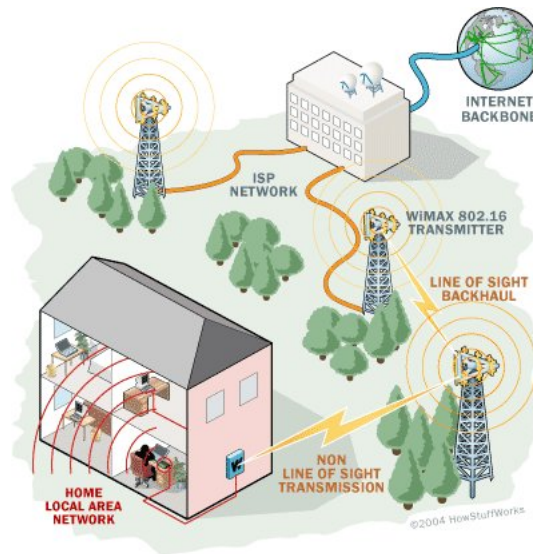


Figura 5.1: ¿Cómo trabaja WiMAX?

opcionalmente puede funcionar en modo mesh (donde varios SS se comunican entre sí).

Basa su funcionamiento en un esquema de acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA); es decir, se realiza una planificación detallada del momento en el que transmite cada sistema dentro de la red con el fin de que no se produzcan interferencias de unos con otros. Para dar mayor flexibilidad en el uso del espectro y diferenciar entre las transmisiones en el uplink (hacia la BS) y el downlink (desde la BS), se permite la utilización de dos técnicas de duplexado: multiplexación en el tiempo (TDD) y multiplexación en frecuencia (FDD). En FDD el uplink y el downlink se transmiten a frecuencias distintas de forma simultánea por lo que es el modo más adecuado en redes en las que se desee tener un tráfico simétrico. En el caso de TDD, se transmiten en distintos instantes de tiempo a una misma frecuencia, lo que permite la posibilidad de ajustar los volúmenes de tráfico de forma asimétrica entre ellos asignándoles diferentes tiempos a cada uno.

Otra de las características del estándar es que proporciona los mecanismos necesarios para que las estaciones puedan cambiar el esquema de modulación utilizado en la transmisión. Este cambio se realiza de forma dinámica y en función del estado del canal inalámbrico en cada momento. La modulación a utilizar por cada estación se realiza, por tanto, de forma adaptativa y en función de la relación señal a ruido (SNR) presente en el sistema. A medida que la SNR baje, se irá seleccionando una modulación más robusta, que proporcionará un caudal menor pero que será el mejor posible en esas circunstancias.

Además, 802.16-2004 propone el uso de otras técnicas más avanzadas para optimizar el uso del medio radioeléctrico y aumentar dicho caudal; en concreto, la diversidad espacio temporal (STC), los sistemas de antenas adaptativas (AAS) y los sistemas de entrada y salida múltiples (MIMO)⁵.

⁵El primero utiliza un esquema de antenas en la BS para transmitir una señal codificada con STC para proporcionar ganancias que resulten del segundo orden de diversidad. Los AAS hacen uso de un array de antenas en la BS para aumentar la ganancia a una SS determinada mientras anula las interferencias provenientes de

A las características explicadas anteriormente hay que añadir la calidad de servicio (QoS). En WiMAX la calidad de servicio se realiza a través de la capa MAC. Ésta proporciona inteligencia a la capa PHY, para de esta manera asegurar ciertos requisitos de QoS, como latencia o retardo, mediante la asignación dinámica del ancho de banda. En este punto es necesario destacar que la provisión de QoS para los dos modos de funcionamiento de esta tecnología, punto a multipunto y mesh, es completamente distinta. En la modalidad punto a multipunto la MAC está orientada a conexión y la provisión de QoS se realiza a través de un mecanismo denominado Grant/Request, donde las SS solicitan el ancho de banda que necesitan (Request) para cada conexión y la BS decide (Grant) cuánto asigna a cada SS, en función del ancho de banda disponible y las características de QoS de cada conexión. Por su parte, la QoS en la modalidad mesh se basa en los enlaces directos existentes entre cada par de SS, en cada uno de los cuales las restricciones de QoS han de ser aplicadas mensaje a mensaje. Los enlaces no tienen unos parámetros de QoS asociados, sino que cada mensaje que circula por ellos ha de ser tratado conforme a los parámetros de servicio especificados en su cabecera.

5.3.2. 802.22 WRAN

La proliferación de sistemas inalámbricos que hemos vivido en los últimos 10 años y la necesidad de una convivencia en armonía de todos estos sistemas, está poniendo en duda el modelo regulatorio de utilización del espectro radioeléctrico, tal cual lo conocemos hoy en día. En 2003, la FCC (Federal Communications Commission) hizo un estudio en el que se mostraba que, en promedio, el uso real del espectro en el que trabaja un determinado servicio oscila entre el 15 % y el 85 % del total, de tal forma que, esporádicamente y en una localización geográfica, el uso de una banda espectral puede ser potencialmente bajo. Por esta razón, los organismos internacionales de regulación vienen revisando el tema de los nuevos usos del espectro. En este contexto se han propuesto las redes de acceso dinámico al espectro radioeléctrico, denominadas redes de Radio Cognitiva.

El principal objetivo de diseño de este tipo de redes es el de poder aprovechar dentro de un determinado rango del espectro, las sub-bandas libres que temporalmente no esté utilizando el servicio legalmente licenciado. El requisito de partida es que los usuarios del servicio primario no queden interferidos. Si la banda es sin licencia, el objetivo es transmitir sin perjudicar al resto de usuarios. La idea fundamental es, por lo tanto, que las tecnologías de radio cognitiva puedan adaptarse dinámicamente al entorno, midiendo el estado del espectro electromagnético, capturando y procesando la heterogeneidad de tecnologías y permitiendo a los usuarios migrar, a lo largo del tiempo, entre distintas bandas de frecuencias.

IEEE 802.22 constituirá el primer sistema de radio cognitiva como tal. Su objetivo es la implantación de redes de área regional inalámbricas (WRAN) sobre el espectro asignado por licencia a Televisión [Cea06b] ya que los estudios sobre la utilización de esta banda frecuencial muestran que, sobre todo en áreas rurales, existen un gran número de canales libres en los cuales la transmisión es posible. Por tanto, está apuntado específicamente a brindar acceso de banda

otras fuentes de interferencias (como podrían ser otras SS) modificando adaptativamente su patrón de radiación. Por último, los sistemas MIMO permiten aprovechar fenómenos físicos como la propagación multitrayecto para incrementar la tasa de transmisión y reducir la tasa de error.

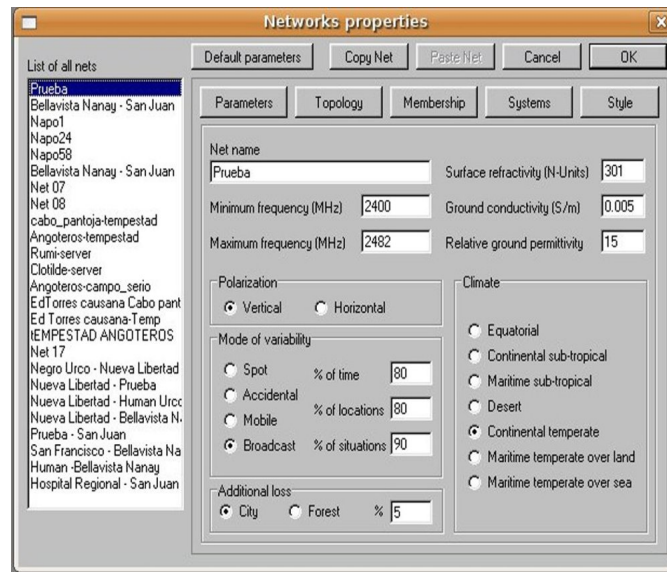


Figura 5.2: *Propiedades de las redes en RadioMobile.*

ancha a áreas rurales y remotas a través de redes inalámbricas de área regional.

Debido a las óptimas características de propagación a las frecuencias UHF y VHF, se proyectan alcances de hasta 100 Km en régimen binario de unos 18 Mbps. En principio el primer objetivo del estándar es proporcionar un sustituto a las tecnologías x-DSL y cable en áreas rurales y remotas, es decir, se espera poder brindar aplicaciones fijas de banda ancha sobre áreas de gran cobertura que posean baja densidad de usuarios.

5.4. Incertidumbre en los valores de los parámetros del modelo de propagación

RadioMobile permite configurar varios parámetros para caracterizar el estudio del enlace ya que utiliza el modelo Longley-Rice, tal y como hemos mencionado anteriormente.

Si observamos la Figura 5.2 vemos que podemos modificar la polarización, el modo de variabilidad, las pérdidas adicionales, la refractividad, conductividad y permitividad del terreno además del clima. El correcto establecimiento de los valores de cada uno de estos parámetros determinará en gran medida que no se produzcan errores en el diseño de la red. Hasta ahora no se ha hecho ningún estudio con relación a los valores idóneos de estos parámetros.

Centrándonos en el modo de variabilidad podemos elegir cuatro opciones:

1. Modo Spot: Se realizan transmisiones unicast entre estaciones fijas; es decir, el programa hace un intento para enviar un mensaje en la simulación.
2. Modo Accidental: Se trazan múltiples puntos a lo largo de varias radiales desde la ubicación del transmisor para calcular el campo en posiciones individuales. Se usa para evaluar interferencias.

Opciones	Porcentajes
Spot	% Situaciones
Accidental	% Tiempo % Situaciones
Mobile	% Tiempo % Situaciones
Broadcast	% Tiempo % Ubicaciones % Situaciones

Tabla 5.1: *Probabilidades que afectan a cada Modo de Variabilidad.*

3. Modo Mobile: Se utiliza para estaciones que se están moviendo durante la transmisión.
4. Modo Broadcast: Se utiliza para transmisiones broadcast entre estaciones fijas.

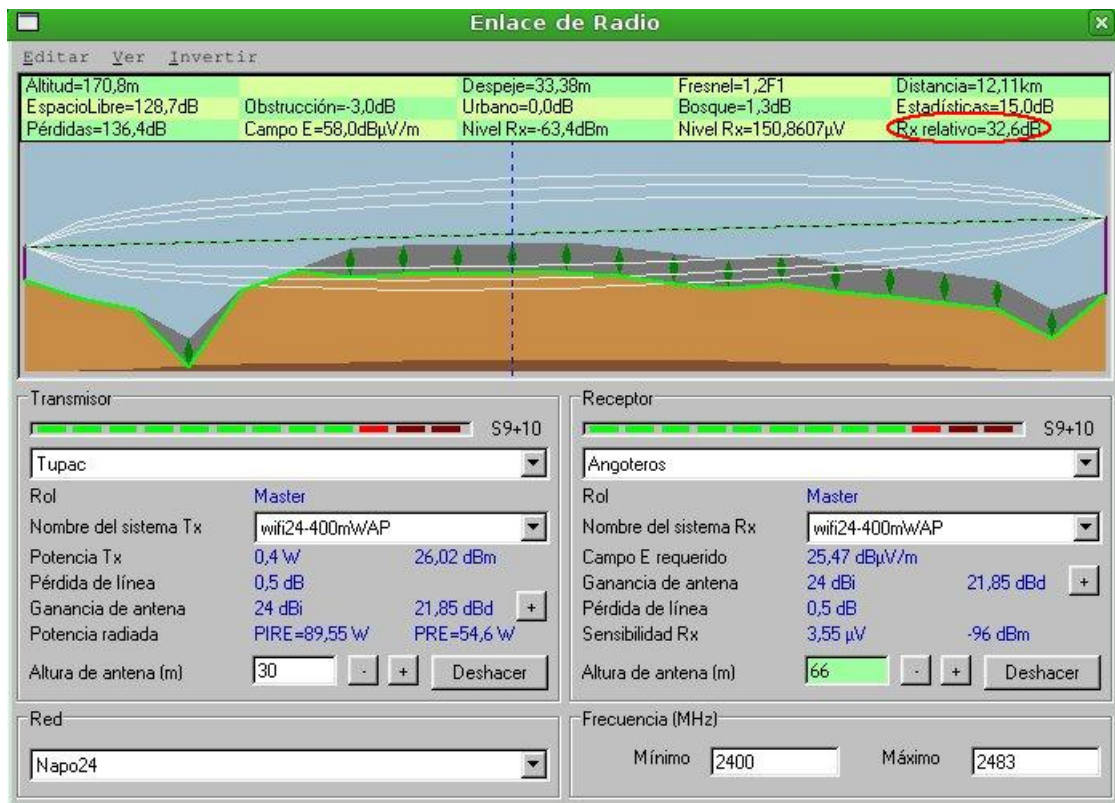
En la Tabla 5.1 vemos los tipos de porcentajes que podemos seleccionar para cada modo de variabilidad. Elevar los porcentajes de estos parámetros implica aumentar las pérdidas añadidas al enlace. En la subsección 6.3.2 volvemos a referirnos a estos porcentajes para determinar sus valores óptimos en el diseño de redes.

Si obtenemos la imagen del perfil entre dos puntos a enlazar podremos observar si existe algún punto crítico en el trayecto y tendremos información sobre el margen de señal recibido (Figura 5.3).

5.5. Falta de consideración de la cobertura de la Tierra en el diseño de la red

Debido a que las redes desplegadas por EHAS se instalan en zonas de selva o alta montaña debemos tener en cuenta la vegetación en las proximidades y lejanías de cada establecimiento en el cálculo del balance de enlace del modelo de propagación. Hasta ahora, el programa EHAS consideraba un porcentaje de bosque concreto (10 %) para todos los enlaces simulados mediante RadioMobile pero nunca se ha llevado a cabo un estudio sobre el funcionamiento de la consideración de esta pérdida adicional ni del valor óptimo que debe tomar. Dicho valor influye en el margen de recepción del que nos informa RadioMobile por lo que se tiene en cuenta en el diseño de las redes.

Pero es que además ahora en RadioMobile se puede incluir un nuevo paquete cartográfico llamado LandCover que tiene información sobre la superficie terrestre: vegetación, edificaciones, ... Este nueva funcionalidad hace que la herramienta devuelva un valor de margen de recepción más exacto a las características reales del entorno; es decir, modifica su estimación de la propagación por las condiciones particulares del terreno sobre el que se producen reflexiones.

Figura 5.3: *Enlace de Radio en RadioMobile.*

5.6. No consideración de la interferencia mutua entre radios y antenas colocadas en la misma torre

Debido al problema planteado en la subsección 4.1.1.1, en el que se veía como entre dos nodos consecutivos concretos de algunas redes EHAS se obtenía mayor throughput que si se intercalaba entre éstos a un nodo intermedio, se crearon incógnitas al respecto y se abrió una línea de investigación que comenzó por la búsqueda de documentación al respecto, si es que existía. Estudios como [Cea06a] [Iea] [Rea] [Lea05] analizan el problema de interferencias entre radios y antenas. Las interferencias entre antenas no será objeto de análisis en este proyecto fin de carrera pero en la siguiente subsección realizaremos un análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los documentos citados. Decir que actualmente el programa EHAS está planeando realizar un experimento de campo para determinar la separación entre antenas colocadas en la misma torre para que no se interfieran entre sí. En la Figura 5.4 se puede ver el diseño del escenario en estudio.

5.6.1. Análisis de estudios previos existentes

Existen experimentos que han evaluado de forma muy cualitativa el efecto que tiene modificar la distancia vertical y horizontal entre antenas y placas posicionadas en la misma torre para generar un enlace multisalto.

En [Cea06a] utilizaron un emplazamiento con dos antenas de grilla parabólicas montadas en la cima de una torre, colocadas con una separación de 90° y una distancia de 1 metro. Cada una de las antenas estaba conectada a una tarjeta radio Prism2 insertada en una placa Soekris. Una de las tarjetas funcionaba en modo AP enviando beacons cada 100ms a una potencia de 20dBm y la otra en modo monitor, intentando detectar los beacons procedentes del AP. La tarjeta del AP estaba en el canal 1 mientras que la del otro nodo se modificaba desde el canal 1 hasta el 11. Probaron 4 configuraciones diferentes: ambas tarjetas cerca de sus respectivas antenas, el nodo AP colocado cerca de su antena y el otro en la base de la misma, ambas tarjetas en la base de la torre separadas una de la otra una distancia aproximada de 1 metro y ambas tarjetas en la base de la torre separadas unos 5 metros entre ellas. Los resultados obtenidos muestran que cuando ambas tarjetas están en la cima de la torre, los canales 1 y 11 no pueden ser considerados mutuamente no interferentes. La presencia de interferencias incluso entre canales muy separados se puede explicar ya que cuando dos tarjetas están cerca una de la otra (1m aproximadamente), hay pérdidas significativas debido al conector abierto de la tarjeta. Además se añade el hecho de que ambas tarjetas se encuentran dentro del campo cercano de la antena que no es su respectiva por lo que las dos detectaron radiación significativa procedente del nodo contrario. Sin embargo, cuando las dos tarjetas se encuentran en la base, la interferencia se ve reducida considerablemente. Se consigue evitar cuando hay una separación de 5 canales estando ambas tarjetas separadas 1 metro ya que aunque las dos antenas están dentro del campo cercano de la contraria, las tarjetas están fuera del alcance de las mismas.

Otros artículos han evaluado el efecto que tiene modificar el ángulo de apuntamiento al tiempo que se modificaba la separación entre canales. En [Iea] se investiga el efecto de las interferencias entre antenas directivas cúbicas a partir de un experimento con 4 nodos en el que variaban

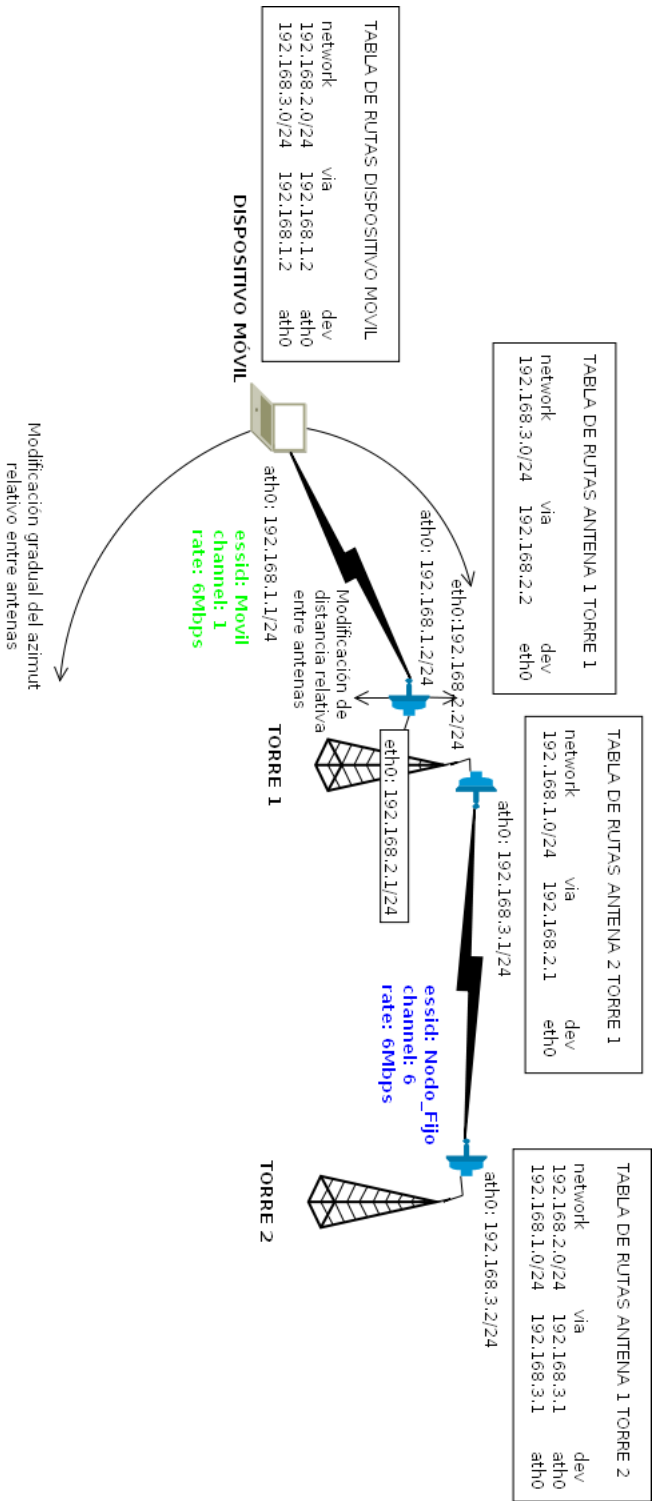


Figura 5.4: *Diseño del escenario del experimento de interferencias entre antenas.*

la orientación de las antenas y la distancia entre ellas en el nodo multisalto. El enlace N1-N2 se fijó al canal 1 de WiFi mientras que se fue variando el canal desde el 1 hasta el 6 en el enlace N3-N4. Realizaron cuatro configuraciones para medir el throughput. En la primera de ellas, todos los nodos están alineados. Las dos antenas en el nodo con múltiples interfaces forman 180° con respecto a la otra. En la configuración 2, el enlace N3-N4 está desplazado 45° , con lo que los glóbulos principales de las dos antenas están separados 135° en el nodo con múltiples interfaces. Dicho enlace está desplazado 90° en la tercera configuración, con lo que también hay una separación de 90° de separación en las antenas. La última es idéntica a la primera con la única diferencia de que las antenas no están separadas 1,22 metros de forma horizontal sino que lo están en el plano vertical. Diseñaron dos escenarios; en el primero se pretendía investigar las interferencias en un nodo con múltiples interfaces radio con antenas directivas cuando una tarjeta está recibiendo mientras la otra está enviando. En el escenario 2, el interés estaba en el estudio de los efectos de los reenvíos de los nodos 1 al 2 y del 3 al 4, además de los efectos del encaminamiento en el enlace cableado. Los resultados muestran que la localización y la orientación de las antenas en el nodo multisalto tiene un impacto significativo en el throughput. En cuanto a la primera configuración, el throughput en el enlace 1 y 2 es asimétrico para el escenario 1 (1.35 Mbps para el enlace 1 y 25.29 Mbps para el enlace 2 para una separación de canal de 2). Para el escenario 2, el ancho de banda efectivo de extremo a extremo es mayor excepto cuando ambos enlaces están operando en el mismo canal. Además la influencia de la orientación de las dos antenas directivas en el nodo con múltiples interfaces es más obvia en el escenario 2. Cuando ambos enlaces operan en el mismo canal (canal 1) el throughput aumenta más de 10 Mbps al cambiar la orientación de las antenas de 180° (3.29 Mbps) a 135° (13.52 Mbps). Para el caso de canales completamente separados, en ambos enlaces se logra casi la capacidad máxima de ambos. Para la segunda configuración, la diferencia en cuanto a throughput en el enlace 1 y 2 existe pero es menor que para la configuración 1 (7.53 Mbps para el enlace 1 y 21.25 Mbps para el enlace 2 con una separación de 2 canales). Cuando se añaden 1,22 metros de separación vertical (a la separación horizontal) entre las antenas del nodo con múltiples interfaces para el caso de 180° y escenario 2 se aprecia un incremento en el throughput para canales solapados.

Además hay estudios del efecto que tiene incluir varias tarjetas inalámbricas en una sola placa y el efecto que tiene sobre el caudal la separación entre canales. En [Rea] demuestran que el uso de múltiples interfaces radio en un mismo nodo degradan el rendimiento debido a interferencia mutua, pérdidas de radiación y separación inadecuada entre las antenas. A través de experimentos demuestran que tarjetas inalámbricas con mejor protección pueden reducir potencialmente el impacto de las pérdidas de radiación. Además, el rendimiento mejora más del 100 % cuando las antenas están separadas aproximadamente 35 dB. Comenzaron sus experimentos con una tarjeta inalámbrica y fueron añadiendo una más (hasta 4) dentro de un punto de acceso wireless que crearon. Las tarjetas no transmitían, sino que simplemente estaban en modo monitor y se las colocaba en canales ortogonales. El resultado obtenido fue que teniendo más de dos tarjetas en el mismo punto de acceso se introduce mucho ruido. Uno de los motivos por los que observaba este hecho era que la protección de las tarjetas inalámbricas transmisoras no era suficiente contra las pérdidas de radiación de las otras. Tras aumentar la protección en las tarjetas PCI recubriéndolas de una lámina de aluminio, observaron que el throughput mejoraba entre un 5-10 %. Cuando los cuatro slots estaban ocupados, el throughput alcanzado sin la protección extra fue de 4.1

Mbps, mientras que al añadir la protección, aumentó a 4.6 Mbps. Esto confirma que una parte importante del throughput perdido se debe a las pérdidas en el aire de las tarjetas por lo que una mayor protección puede reducir estas pérdidas aunque es muy difícil eliminarlas por completo. Una de las razones por las que se degrada el rendimiento en un sistema con múltiples interfaces radio es la separación entre las antenas que, de acuerdo con el estándar del IEEE, ha de ser de una separación de 35 dB. Por este motivo, este grupo de investigadores diseñaron escenario con 3 puntos de accesos en el que el segundo de ellos presentaba dos tarjetas inalámbricas. Para comunicar el nodo 1 con el 2 utilizaron una de las tarjetas en el canal 1 mientras que para comunicar el nodo 2 con el 3, realizaron un barrido desde el canal 1 hasta el 11 con la otra tarjeta. Los resultados obtenidos son que la distancia de separación de antenas recomendada por el estándar permite a las interfaces operar independientemente una de la otra en canales no solapados. Para una separación de 4 canales o más, ambas interfaces logran alcanzar el máximo rendimiento. Esto ocurre a pesar de que hay algo de solapamiento entre los canales.

En [Lea05] se lleva a cabo un experimento en una red wireless con 3 nodos en el que el nodo 1 tiene dos tarjetas inalámbricas instaladas en sus slots de PCMCIA. El nodo 1 se comunica con el 2 a través de la tarjeta 1 en 802.11a y canal 36 mientras que con el nodo 3 lo hace a través de la tarjeta 2 en 802.11a y canal 64. Midieron el goodput⁶ para tres casos diferentes: ambas tarjetas enviando datos, la tarjeta 1 recibiendo datos mientras que la 2 los enviaba y ambas tarjetas recibiendo datos. Trataban de evaluar la interferencia entre múltiples radios y múltiples canales y se dieron cuenta de que incluso utilizando canales ortogonales, el rendimiento de dos radios en el mismo nodo es mucho peor (más bajo) a lo esperado. Aunque el canal 36 de 802.11a (operando en 5.18 GHz) y el 64 (operando en 5.32 GHz) no se solapan, la interferencia entre ambas radios es significativa. En el primer caso, en vez de verse duplicada la capacidad del enlace, el goodput total es incluso menor que en el caso de utilizar una única radio. En el segundo caso, la tarjeta transmisora casi impide recibir a la que realiza esta función ya que, normalmente, la potencia es mayor para el modo de envío que para el de recepción. Cuando la tarjeta 1 opera en 802.11a y canal 48 y la tarjeta 2 en 802.11b y canal 6 no hay interferencias entre ambos modos y se logran altos valores de goodput.

5.6.2. Problema pendiente de resolver

Dadas las características de las redes desplegadas por EHAS y su equipamiento específico, los estudios analizados en la anterior subsección no trataban el comportamiento de las tarjetas CM9 y SR2 que son las que utiliza el programa. Nuestro objetivo aquí era poder determinar para qué distancia y separación de canales, ambas interfaces logran alcanzar el máximo rendimiento (minimizando la interferencia mutua). Además, queríamos ver si incluso utilizando canales ortogonales, el rendimiento de dos radios en el mismo nodo era deficiente tal y como apuntaba [Lea05]. Otro asunto pendiente por resolver era la evaluación de la interferencia mutua entre tarjetas inalámbricas operando en 802.11a y 802.11g en un mismo nodo. También pretendíamos

6

goodput = $\frac{\text{Máximo número de paquetes recibidos secuencialmente por el receptor} * \text{Tamaño del paquete}}{\text{Intervalo de medida}}$ (5.1)

realizar mediciones en un nodo con sus dos interfaces radio ocupadas por una tarjeta de alta potencia y otra de baja para ver el efecto que se producía, lo que finalmente no pudimos realizar debido a la falta de una ubicación libre de interferencias pero que se propone como línea de trabajo futura.

5.7. Deficiencia en las tareas de mantenimiento

Tras enumerar los fallos generales de la red del Napo en el Capítulo 1 se aprecia que se necesita diseñar un plan de mantenimiento. Pasemos a determinar concretamente qué tipos de problemas se detectaron en cada uno de los subsistemas⁷ de la red:

Sistema de Energía

1. Reguladores: Todos los peines de borneras de los reguladores estaban flojos.
2. Baterías: Algunas baterías se encontraron sucias por el exterior y además con insuficientes niveles de agua destilada e incluso en algunos casos como en Santa Clotilde y Cabo Pantoja, secas.
3. Inversores: Se observó que en días soleados los reguladores aportaban demasiado voltaje a los inversores y éstos se ponían en modo “Fault” dejando de funcionar de manera normal.

Sistema Informático

1. Lectoras de DVD (Marca LG): Sólo leían CDs y no DVDs, o bien introducían picos de corriente a la placa base que hacían que se reiniciara el ordenador. Quizás este comportamiento anómalo se debió a que no soportaban las condiciones climáticas de la zona.
2. Impresoras HP: Fallaron 2 de las 9 impresoras HP del Napo. Además, los cartuchos de tinta tenían muy poca capacidad por lo que había continuas solicitudes de repuestos de los puestos de salud a los centros.

Sistema de Telecomunicaciones

1. Conversores de 12V-5V: Provocaban la falta de alimentación a los ATAs o reinicios periódicos, y se encontraron un número muy elevado de ellos quemados o con deficiencias de funcionamiento (3 de los 12 instalados). Debido a que el servicio de voz es el que más vidas salva, los conversores han de ser fiables y estables.
2. Teléfonos analógicos: Algunos usuarios presentaban falta de conocimientos a la hora de utilizar los teléfonos (auricular mal colgado, ajuste del cable auricular, ...).
3. WRAPs: Se detectaron algunos errores graves como que no funcionaba el watchdog hardware y que se colgaban cuando se trataba de reiniciar sus interfaces de red por software. Si el watchdog no funciona correctamente, al colgarse una WRAP, la única forma de volver a ponerla en funcionamiento es subir físicamente a la torre donde está instalada, bajar y

⁷Las redes desplegadas están conformadas por distintos subsistemas: telecomunicaciones, informático, energía, protección eléctrica e infraestructura.

subir el termomagnético que la alimenta. Mientras todo esto sucede, toda la red desde ese punto hacia el final de dicha red queda sin conexión a internet y se pierde la conexión telefónica entre las dos partes.

4. Antenas grilla: Algunas de ellas perdieron la chapa del dipolo, quizás durante el montaje y los latiguillos se encontraban forzados en su posición, también debido a su instalación. En ocasiones, se había dejado cable coaxial sobrante y poco rígido, aumentando las pérdidas del mismo. En Copal Urco se vio que el ajuste de los soportes de las antenas no estaban lo suficientemente apretados por lo que había riesgo de golpes en la estructura de la torre en caso de viento y pérdida de alineamiento con otros puestos, lo que se traduce en falta de conectividad.
5. Antenas Yagi: Su colocación en la torre, para el enlace con la estación cliente, ha sido descuidada en ocasiones como por ejemplo en Tachsa que se dejó el haz principal apuntando al triángulo antirrotacional localizado a escasos centímetros de la antena Yagi lo que puede provocar el reflejo de la señal y en Túpac Amaru, por falta de cable coaxial, colocaron la antena entre dos tejados de calamina que podían afectar de forma negativa al nivel de señal. En muchos establecimientos de salud existe falta de alineamiento entre la antena Yagi de la estación cliente y la antena de grilla.
6. Conectores: Los conectores a presión de los cables coaxiales situados a la intemperie se encontraron en algunos casos desarmados. Además se detectaron filtraciones de agua en los vulcanizados de las conexiones.

Sistema de Infraestructura

1. Vientos de las torres: Se tuvieron que engrasar y templar todos los vientos ya que se habían aflojado. El mantenimiento de las bases de los vientos no se había realizado en la mayoría de los casos, descuidándose la limpieza de vegetación circundante así como el vallado para evitar que las reses golpeasen los cables y se comiesen la grasa de los vientos. Además faltaban tuercas en la bases de los vientos.
2. Pararrayos: Los cabezales tetrapuntales estaban aflojados en todos los puestos. Además, en los establecimientos de Tupac Amaru, Copal Urco y Angoteros el sistema de protección eléctrica estaba siendo mal utilizado ya que se detectaron antenas sobre los pararrayos. Este hecho hace que los beneficios de este sistema se cancelen.

Dado que las condiciones de la región del Napo son verdaderamente inhóspitas, con un clima tropical que arroja temperaturas muy altas combinadas con niveles de humedad hostiles a la vida de cualquier aparato electrónico y presenta épocas de tormentas con rayos e intensas precipitaciones, los establecimientos se exponen al peligro de perder la instalación en caso de no realizar un mantenimiento mínimo. Éste requiere un nivel de implicación mínimo por parte del personal de salud, que a fin de cuentas son los usuarios finales.

Debemos tener en cuenta un factor incontrolable que afecta de primera mano al mantenimiento de la red; la rotación de la plantilla. Tras llevar a cabo la formación de los técnicos y usuarios finales, se da el caso de que éstos se marchan de estos establecimientos por lo que habrá

que realizar la capacitación y el mantenimiento con la misma frecuencia en la que se produzca la rotación.

5.8. Necesidad de una mayor capacitación de los usuarios y a un mayor número de técnicos

En cuanto a las capacidades y habilidades de los usuarios finales, en [Lea] se observó que éstos hacían un mal uso del correo electrónico ya que desconocían la maliciosidad de los correos spam. Tampoco se conocía el tiempo máximo de uso diario de los ordenadores para el que estaban diseñadas las instalaciones.

Además en cuanto a los errores de mantenimiento citados en la sección 5.7, los propios usuarios deberían encargarse del mantenimiento de las baterías para que no se queden sin agua destilada, de la limpieza de la base de los vientos, ... Hay que añadir también el hecho de que los usuarios no tenían ningún conocimiento acerca del mantenimiento del sistema de puesta a tierra por lo que en época de escasez de lluvias la resistividad en los pozos alcanzaba valores altos. Además en Santa Clotilde el cable del pozo de puesta a tierra estaba cortado por accidente con una pala. Añadimos también los casos de obstrucción de los paneles por sombras de árboles o cajas colocadas en la torre; en el primer caso se debería proceder a cortar las ramas que den sombra y en el segundo caso a cambiar las cajas de lugar.

En el mismo documento podemos ver la escasa plantilla de técnicos que se formó para la red del Napo. Era totalmente insuficiente (2 técnicos) para poder llevar a cabo las tareas de verificación de operatividad y mantenimiento de los enlaces.

Entonces, se establece como requisito primordial para el correcto funcionamiento de los sistemas EHAS, que deberán mantenerse operativos en un futuro por parte de la organización beneficiaria, que el personal encargado para tal efecto haya sido capacitado previamente. Por ello, este objetivo sólo podrá cumplirse en la medida en que dicha institución disponga de los conocimientos necesarios para ello.

Los cursos de capacitación de usuarios han de realizarse durante el periodo de ejecución del proyecto y, por tanto, deberán identificarse las personas que podrían encargarse de estas actividades teniendo en cuenta que no siempre existen empleados en la organización o miembros de la comunidad con el perfil y la disposición para recibir estas funciones. Además, en caso de que se realicen rotaciones de personal o contrataciones nuevas, será la Unidad de Estadística e Informática de la Dirección de Salud la encargada de efectuar una primera formación a los nuevos usuarios, que más tarde debe ser reforzada por el jefe del establecimiento de salud.

También, es especialmente importante la correcta capacitación de capacitadores, es decir, formación de personal local a un nivel técnico suficiente para reducir al mínimo las intervenciones de personal externo a la red y replicar la formación recibida a nuevos grupos de usuarios. Esto haría permanente el proceso de aprendizaje del conjunto de personas que forman la organización o colectivo beneficiario ya que de lo contrario, la red está abocada a deficiencias de funcionamiento y uso.

La capacitación de los usuarios finales de los sistemas instalados, así como del personal que se dedicará a las labores de mantenimiento, es fundamental para asegurar la sostenibilidad de las

redes implementadas. Por ello, se hace de especial importancia la elaboración y ejecución de un plan de capacitación permanente (durante la ejecución del proyecto y después, durante un tiempo, de la finalización del mismo) a usuarios y técnicos de mantenimiento con el objetivo de desarrollar, en el personal local, las capacidades y competencias necesarias para operar y mantener las redes instaladas. Esta capacitación puede incluir tanto cursos presenciales específicamente orientados a los usuarios e impartidos por personal cualificado como cursos a distancia e interactivos. La capacitación se diferenciará en función de los usuarios a los que vaya dirigida; es decir, será diferente para los usuarios finales y para los técnicos de mantenimiento. Sin embargo, en ambos casos, es conveniente entregar material impreso y/o en medios digitales para que sirva como apoyo en la ejecución de las actividades que realizarán.

5.9. Falta de una gestión de red apropiada

El hecho de que se produzcan fallos de conectividad y caídas temporales de algunos enlaces entre nodos de la red nos hace ver que se hace necesario el uso de determinadas herramientas que permiten identificar averías, tanto antes de producirse como una vez que han tenido lugar. Estas aplicaciones se denominan herramientas de gestión de red.

La gestión de redes tiene como propósito la utilización y coordinación de los recursos para planificar, organizar, mantener, supervisar, evaluar, y controlar los elementos de las redes de comunicaciones para adaptarse a la calidad de servicio necesaria, a un determinado coste. Por tanto, un sistema de gestión de red contribuye a detectar y a diagnosticar problemas que afectan al buen funcionamiento de la misma permitiendo, además, de conocer el uso que los usuarios hacen de los servicios ofrecidos.

La gestión de un entorno de telecomunicaciones es una aplicación de procesamiento de información, en la cual intervienen elementos fundamentales como son el gestor, el agente, el protocolo de gestión, y la base de información de gestión (MIB) que interactúan entre sí empleando el modelo gestor-agente como podemos ver en la Figura 5.5⁸.

Las redes que implantaba EHAS se basaban fundamentalmente en tecnologías VHF/HF y una de las características determinantes de estas tecnologías es que no tienen conectividad permanente garantizada. Por ello, a la hora de elegir el sistema gestor, no podía depender de la conectividad a los equipos gestionados para poder realizar sus tareas de monitorización y control. Además, los equipos gestionados deberían recolectar su propia información de gestión y enviarla en el momento en el que tuviesen conexión mediante correo electrónico. Por tanto, pensaron que la

⁸El gestor es la parte de la aplicación que emite las directivas de operaciones de gestión y recibe notificaciones y respuestas. Este se implementa en una estación de gestión en la cual se debe disponer de la MIB del dispositivo en gestión y una interfaz de usuario. El agente tiene la función de responder a las directivas enviadas por el gestor y lo realiza accediendo a la MIB para manipular los objetos involucrados en la operación. El agente se encuentra ubicado en el dispositivo de telecomunicaciones gestionado. La MIB es el conjunto de objetos gestionados que representan a los recursos de la red que permiten algún tipo de gestión en una forma abstracta. La MIB se encuentra ubicada en el dispositivo de telecomunicaciones y se necesita una referencia de ésta en el gestor. Por último, el protocolo es el conjunto de especificaciones y convenciones que gobiernan la interacción de procesos y elementos dentro de un sistema de gestión. En la actualidad, los protocolos más utilizados son Simple Network Management Protocol (SNMP) que forma parte del modelo de gestión de Internet y Common Management Information protocol (CMIP) que es parte del modelo de gestión OSI.

Figura 5.5: *Modelo gestor-agente.*Figura 5.6: *Sistema de gestión de redes.*

mejor alternativa para lograr la comunicación entre el gestor y los equipos gestionados era el correo electrónico tal y como se muestra en la Figura 5.6.

El gestor de red elegido, y que se adecuaba a estas especificaciones, fue Zabbix. La versión 1.1 del mismo (Figura 5.7) permite el polling y trapping de datos de los equipos gestionados, es decir, los datos pueden ser solicitados por el gestor o pueden ser proporcionados por el equipo gestionado sin petición del gestor. Asimismo este gestor de redes posibilita el manejo de usuarios y grupos de usuarios de la herramienta, equipos y grupos de equipos gestionados, variables a monitorear, disparadores de eventos, alertas, alarmas, acciones cuando se producen eventos, datos históricos de las variables monitoreadas, mapas y gráficos. Todo ello, entre otros aspectos, le aportan una gran versatilidad. Si se quiere ahondar en sus especificaciones se puede consultar [Aea08].

El esquema general en el que se basa este gestor de red lo podemos ver en la Figura 5.8. El módulo “Recolección de la Información” presente en el equipo gestionado, tiene como misión recolectar, empaquetar y enviar la información. Esta información se obtiene mediante un sistema de scripts de bash que se apoyan en otras herramientas. Por lo tanto, la información es obtenida mediante la ejecución de comandos, la consulta de logs y algunos demonios desarrollados específicamente para obtener los datos necesarios.

Comentemos ahora los módulos pertenecientes al equipo gestor:

- **Preprocesado de la información:** Recoge la información que le llega de los sistemas gestionados, almacena una copia de seguridad, extrae la información importante y la introduce en una base de datos. La información de cada sistema gestionado se almacena en un directorio específico para ese sistema.
- **Almacenamiento de la información:** Es la base de datos de la información y se trata de una base de datos relacional.

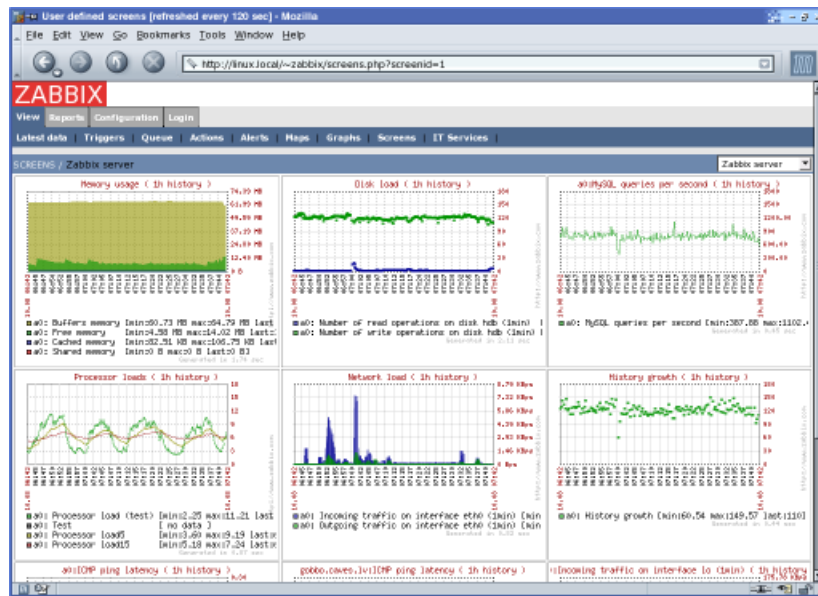


Figura 5.7: Zabbix 1.1.

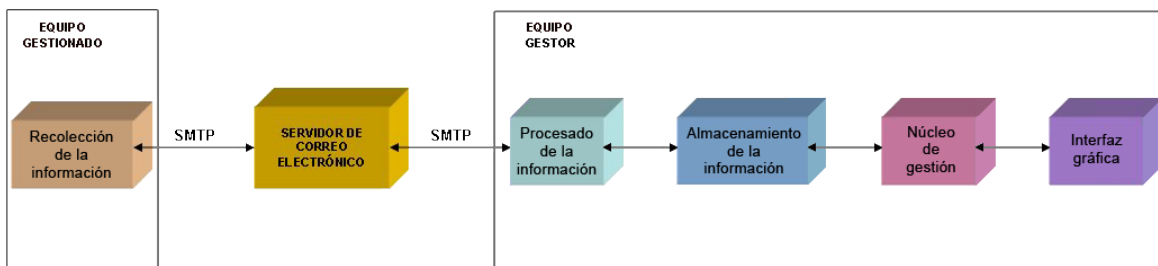


Figura 5.8: Bloques componentes del gestor de red.

- Núcleo de gestión: Se puede dividir en dos submódulos.
 1. Gestión de alarmas: Se encarga de detectar averías u otros problemas y la reparación de éstos. Aquí se tiene en cuenta el llamado “efecto tomate”, es decir, la correlación de los eventos, evitando que se disparen un número innecesario de alarmas si todas se activan por una causa única.
 2. Gestión de inventario: Encargado de lo referente a la información inventariable de los equipos (HW, tipo de radio, SW instalado, ...).
- Interfaz gráfica: Se encarga de la forma de representar la información que se maneja en el sistema.

La arquitectura de este gestor de red se basa en el paradigma Modelo-Vista-Control (MVC), que permite separar la lógica de control de la visualización y los datos en el gestor. En la Figura 5.9, además de aparecer los componentes modelo, vista y control de Zabbix, aparece un componente modelo, vista y control del sistema de gestión de redes EHAS (SGRE) junto a cada

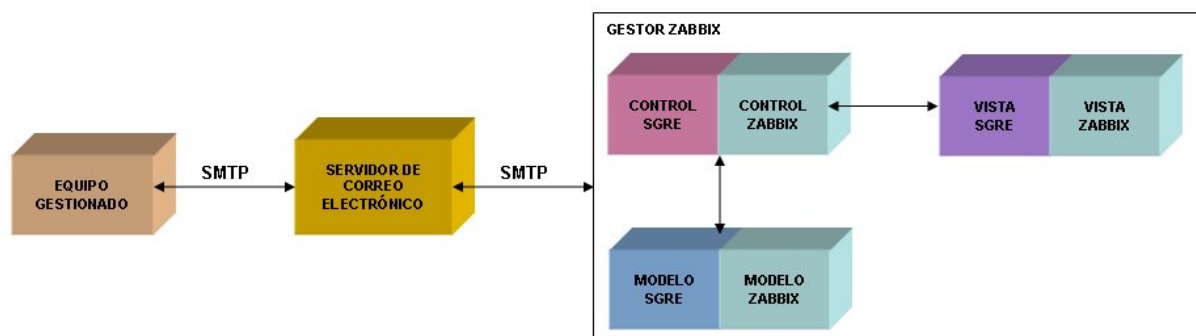


Figura 5.9: Arquitectura del gestor de red.

uno de los anteriores necesarios para realizar adiciones y mejoras a Zabbix que consiguen que el sistema de gestión permita realizar las tareas de monitorización y control sobre las redes EHAS.

5.9.1. Paso de Zabbix a Nagios/Centreon

A pesar de que el sistema de gestión de red elegido cumplía con el propósito que se buscaba, consiguiendo una gestión bastante completa, el problema principal vino por el mantenimiento de Zabbix ya que la adaptación desarrollada sobre el propio código del sistema, para que la comunicación fuera por correo electrónico, hizo imposible la actualización a nuevas versiones y, eventualmente, supuso una fuerte limitación funcional y un conflicto de versiones con otros paquetes actualizados del sistema operativo. Además, el hecho de que hubiese paquetes adicionales, procedentes de la adecuación de las especificaciones, hacía que las personas encargadas del mantenimiento del sistema, lo encontraran complejo y muchas veces incomprensible y, por lo tanto, difícil de mantener. Para los usuarios finales, el problema estaba en que lo encontraban con demasiada información y no siempre fácil de utilizar, por lo que no llegaron a empatizar con él. Además de ello, el programa EHAS está tendiendo a proponer redes de banda ancha y redes IP; Todo esto llevó al planteamiento de un nuevo sistema de gestión de red alternativo. Ya no sólo en su manera de actuación sino también en la forma de llegar a los usuarios finales, es decir, en la herramienta de gestión. Por ello, se decidió utilizar una forma de gestión más universal y mantenible, el protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol), dejando así de usar su propio paradigma mostrado en la Figura 5.6. Como ya hemos mencionado, esta decisión fue posible porque en la actualidad se opta por las redes Wifi, con conectividad permanente, en las que se puede acceder al sistema gestionado y preguntarle por la información necesaria sin ninguna restricción determinante. Al elegir esta opción, el principal problema lo plantearon los routers, para los cuales no había ninguna implementación libre de MIB, por lo que no serían gestionables. Actualmente, una proyectante está realizando un proyecto fin de carrera con el objetivo de la implementación de esta MIB Wifi libre.

Además de lo anterior, actualmente se pretende integrar Nagios y Centreon. Nagios es un sistema open source de monitorización de redes ampliamente utilizado, que vigila los equipos y servicios que se especifiquen, alertando cuando el comportamiento de los mismos no sea el deseado. Entre sus características principales figuran la monitorización de servicios de red (SMTP,

POP3, HTTP, SNMP, ...), la monitorización de los recursos de sistemas hardware (carga del procesador, uso de los discos, memoria, estado de los puertos, ...), independencia de sistemas operativos, posibilidad de monitorización remota mediante túneles SSL cifrados o SSH y la posibilidad de programar plugins específicos para nuevos sistemas. Se trata de un software que proporciona una gran versatilidad para consultar prácticamente cualquier parámetro de interés de un sistema, y genera alertas, que pueden ser recibidas por los responsables correspondientes mediante (entre otros medios) correo electrónico y mensajes SMS, cuando estos parámetros exceden de los márgenes definidos por el administrador de red.

La diferencia de Nagios con respecto a Zabbix es que el primero tiene la particularidad de que sus funcionalidades adicionales se encuentran en módulos independientes, que, por un lado, lo convierten en una herramienta extensible pero que, por otro, implican el manejo de diferentes aplicaciones para conseguir la funcionalidad deseada. Por el contrario, Zabbix contiene toda su funcionalidad en un único paquete, por lo que no requiere de módulos adicionales. Además, su arquitectura es bastante modular y flexible, lo que permite, en caso necesario, añadir casi cualquier funcionalidad adicional requerida.

Tras un primer estudio de los distintos sistemas de monitorización de red de código abierto disponibles se eligió Centreon ya que es un configurador web que opera a su vez sobre Nagios. Nagios, a pesar de ser una herramienta muy consolidada por su madurez y estabilidad, presenta el inconveniente principal de tener una configuración que no resulta sencilla y amigable (se realiza operando directamente sobre los ficheros de configuración y por línea de comandos). Centreon se encarga precisamente de corregir este inconveniente, ya que permite configurar vía Web cualquier aspecto de Nagios.

Para consultar la instalación, configuración y uso de Nagios/Centreon se puede consultar el enlace “Gestión de red y de incidencias” en el apartado “Sostenibilidad” del sitio web [wik].

5.10. Ausencia de uso de un sistema de gestión de incidencias

Para ciertas incidencias el gestor de red no puede informarnos de que se han producido. Es el caso, por ejemplo, de cúmulo de agua en la base de las torres de los establecimientos de salud lo que puede provocar, en un futuro incierto, un cortocircuito en la misma. Así pues, esto no hace que salte ninguna alarma en el gestor pero si se dispusiese de alguna herramienta mediante la que los usuarios pudiesen abrir una incidencia al respecto, los responsables del mantenimiento tendrían conocimiento inmediato del hecho acontecido. Con ello, se pondría en funcionamiento el protocolo de actuación para resolver dicha incidencia con el fin de no perjudicar al correcto funcionamiento de los sistemas instalados.

Además, actualmente en algunas ocasiones, las partes implicadas en el correcto funcionamiento de las redes EHAS no conocen ciertos problemas que tienen lugar en las mismas y esto es debido, fundamentalmente, a que no existe ninguna sistematización sobre las pasos a seguir tras la detección de un problema en la red y los grupos adjudicados para la resolución de cada uno de ellos.

Con un sistema de gestión de incidencias, se abrirían tickets cada vez que se produce algún problema o fallo de algún componente de la red y automáticamente quedaría registrado en el sistema. Las personas a las que se adjudique su resolución tendrán constancia inmediata de que

éste se ha producido y hay que proceder a su resolución pudiendo introducir información sobre el problema para que todos los usuarios que lo deseen puedan consultar el histórico de la incidencia. Dependiendo de la gravedad del problema se adjudicarán más o menos recursos a su resolución para mitigarlo en espacio de tiempo más o menos corto.

Capítulo 6

Resultados obtenidos

En este capítulo iremos proponiendo mejoras a algunas de las fases de la metodología del programa EHAS además de proponer algunas nuevas para enriquecer la intervención.

Pero antes de comenzar con ello, enumeraremos las fases de la metodología explicada en el Capítulo 3 en las que no encontramos deficiencias y por tanto, continúan realizándose de la misma forma:

1. Simulación de los radioenlaces RF de la red con ayuda de RadioMobile.
 - Determinación de las especificaciones radioeléctricas.
 - Determinación del equipamiento dependiendo de la tecnología y del tipo de nodo.
 - Localización y altura de antenas y repetidores.
2. Especificación del sistema de soporte mecánico.
3. Dimensionamiento del sistema de suministro eléctrico.
4. Diseño del sistema de protección eléctrica.
5. Diseño del sistema de puesta a tierra.
6. Redacción del documento técnico con listado de materiales y planos de instalación de los sistemas.
7. Cálculo del presupuesto.

Las fases de la metodología tradicional que serán objeto de mejora son:

1. Obtención precisa de las coordenadas de los establecimientos de salud.
2. Simulación de los radioenlaces RF de la red con ayuda de RadioMobile.
 - Parámetros del modelo de propagación.
 - Definición rigurosa del perfil del terreno en RadioMobile.
 - Consideración de la cobertura de la Tierra en el diseño de la red.

Adicionalmente, se proponen nuevas fases a tener en cuenta:

- Análisis de viabilidad.
- Aseguramiento de aislamiento mutuo entre estaciones WiFi con múltiples interfaces radio.
- Valoración técnica y económica de las necesidades de mantenimiento y administración de la red tras su instalación.
- Utilización de un sistema de gestión de incidencias.

Otras fases a las que no se proponen soluciones pero que se dejan como líneas de trabajo futuras son:

- Investigación y posible inclusión de tecnologías nuevas en la etapa de determinación de la misma para el diseño de redes.
- Realización más rigurosa del experimento de interferencia mutua entre radios coubicadas en una ubicación libre de interferencias.
- Análisis de métodos de aprendizaje idóneos para la mejora de la capacitación de los usuarios y técnicos de las redes.
- Gestión de redes.

Pasemos ahora a explicar cada una de las fases en las que hemos detectado carencias y para las que proponemos mejoras y aquellas nuevas que deberían ser incluidas en la metodología.

6.1. Análisis de viabilidad

La viabilidad de las redes de telecomunicaciones inalámbricas en entornos rurales no debe ser considerada un objetivo complementario ni adicional, sino parte de la misión misma del proyecto. De esta forma las herramientas que se entregan para promover el desarrollo y mejorar la calidad de vida deben ser duraderas en el tiempo. El prematuro fin o un temprano deterioro no sólo implican un estancamiento, y hasta un posible retroceso, sino también significa que el esfuerzo y el capital invertidos se perderán irremisiblemente. El coste de oportunidad de estos recursos es siempre demasiado elevado para afrontar ese riesgo.

Es importante entender el concepto y las categorías asociadas a un proyecto TIC sostenible en zonas rurales. Las diferentes categorías de la sostenibilidad que influyen en el éxito de este tipo de proyectos son: sostenibilidad social y cultural, institucional, económica, política y tecnológica. Éstas se relacionan con factores críticos de éxito que deben ser considerados a la hora de llevar a cabo el proyecto [PMS06] [Ile06]. Por tanto, hay una serie de obstáculos y barreras que debemos tener presentes a la hora de analizar y diseñar iniciativas con base en las TIC que pretendan impactar en el Desarrollo Humano. Estos obstáculos se pueden desglosar de la siguiente manera:

- Barreras social-demográficas:
 - Densidad de población muy baja en zonas muy amplias.
 - Existencia de zonas aisladas o remotas.

- Grandes diferencias sociales entre núcleos urbanos y mundo rural.
- Barreras económicas:
 - Bajos niveles de ingresos generalizados entre los posibles usuarios.
 - Deficiente gestión de los negocios de las empresas de telecomunicaciones.
 - Posibilidades de negocio poco atractivas para la inversión empresarial.
 - Financiación en TIC dispersa y escasa.
- Barreras político-estratégicas:
 - Falta de claridad en la definición e implementación de leyes y responsabilidades en el sector de las telecomunicaciones.
 - No existencia de organismos reguladores independientes del sector de las TIC.
 - Prioridades de desarrollo social y económico más apremiantes que las referentes al uso de las TIC.
 - Inestabilidad política por conflictos armados recurrentes.
 - Convenios institucionales débiles.
- Barreras tecnológicas:
 - Baja calidad y fiabilidad en los servicios y equipos de TIC.
 - Redes de telecomunicaciones anticuadas o abandonadas.
 - Vulnerabilidad ante desastres naturales.
 - Poca fuerza laboral especialista en TIC.
 - Baja capacitación en el uso de las TIC en la población en general.
 - Necesidad inabordable de recursos energéticos.
- Barreras culturales:
 - Colectivos marginados, por género, raza, religión, ... en el uso de las tecnologías.
 - Tradiciones no compatibles con el uso de algunas tecnologías en particular.
 - Desconfianza cultural del uso de las nuevas tecnologías.
 - Introducción de cambios que rompan las estructuras culturales tradicionales.

En cuanto a la sostenibilidad social y cultural, cuando un proyecto tiene en cuenta los aspectos sociales y culturales de la comunidad rural, la personas que la forman se sienten propietarias y motivadas con el proyecto lo que conduce a la búsqueda de oportunidades para mantener el proyecto a lo largo del tiempo. Se debe minimizar la exclusión social y fomentar la equidad social [BN02] [Obs02]. Por ello, quizás se hace necesario contar con estudios sociales o antropológicos que brinden una clara idea de la realidad social en la que se va a intervenir ya que existen casos en los que los proyectos encuentran su mayor debilidad en el desconocimiento de esa realidad que pretenden modificar. La identificación de los beneficiarios con los objetivos del proyecto es

una condición necesaria, pero no suficiente, para asegurar la sostenibilidad. Si el conjunto de beneficiarios no logra interiorizar el beneficio que le aportará la red instalada y no asumen un compromiso real respecto a su uso y cuidado, el aporte no será viable en el tiempo.

La sostenibilidad institucional o económica se logra cuando los procesos que se llevan a cabo tienen la capacidad de continuar a lo largo del tiempo. Para ello se deben considerar las leyes referentes a las TIC y las organizaciones, tanto del sector público como privado, que desarrollan un papel fundamental en la mejora del sustento de las personas que viven en las zonas rurales. Los proyectos realizados en zonas rurales que utilizan las TIC emplean, inicialmente, los fondos de empresas emergentes. Sin embargo, los servicios que se proveen necesitarán generar ingresos para sostener el proyecto a largo plazo. El objetivo final es conseguir que sean los beneficiarios los que directamente, en el corto, mediano o incluso largo plazo, asuman o contraten las actividades requeridas y provean los recursos necesarios para las mismas. Así pues, las redes serían autosostenibles que es lo que se pretende conseguir.

Las cuestiones políticas en los proyectos TIC suelen dificultar el progreso sostenible del mismo. Las características e implicaciones de su implantación deben ser aceptadas por las personalidades políticas de la comunidad. Además, estos líderes deben estar involucrados en el proyecto para crear la sensación de que les pertenece y consecuentemente para animar a la población a apoyar y percibir los beneficios que éste les aportará. Hay que tener en cuenta aquí que un cambio político (de gobiernos locales o nacionales) puede desembocar en la variación de las políticas sociales y consecuentemente afectar a la sostenibilidad de los proyectos.

El nivel de complejidad técnica en este tipo de redes es relativamente elevado ya que en las zonas rurales casi no existen recursos humanos preparados para asimilar adecuadamente los conocimientos necesarios para realizar una efectiva transferencia tecnológica. Esto puede convertirse en un problema de gran importancia ya que, una vez que las redes son desplegadas, los beneficiarios deberán asumir la responsabilidad de su continuidad para lo cual requieren de un conocimiento técnico mínimo que deberá ser adquirido durante la ejecución del proyecto. Además, es especialmente importante el hecho de que la tecnología empleada deberá disponer de soporte en el mercado local, tanto de repuestos como de servicios, lo que reduce el abanico de posibles soluciones tecnológicas o dificulta los procesos de mantenimiento, expansión o replicación de la experiencia. Con referencia a lo anterior, la disponibilidad de repuestos, hardware¹, software y otras provisiones (papel, tóner de impresora, ...) debe ser inventariada y controlada para asegurar el funcionamiento del proyecto en el tiempo.

Las distintas categorías explicadas anteriormente necesitan estar en armonía e integradas para lograr la sostenibilidad global en los proyectos TIC para zonas rurales. Todas las categorías son igualmente importantes, por lo que no se debe sacrificar ninguna de ellas por alguna otra.

Con respecto a los factores críticos de éxito de los que hablábamos anteriormente, mostramos en la Tabla 6.1 las relaciones entre éstos y cada una de las categorías mencionadas. Los factores críticos que afectan a todas las categorías no indican que el resto no sean tan críticos como los primeros ya que se debe asegurar que todos y cada uno de los factores se han tenido en cuenta durante todas las fases de evaluación. Como también podemos observar en la misma tabla, la mayoría de los factores críticos afectan a las categorías social y cultural e institucional y en menor

¹En este tipo de proyectos se debe considerar como alternativa a los ordenadores nuevos, los de segunda mano con el objetivo de reducir los costes iniciales de los mismos.

medida a las categorías económica, política y tecnológica.

A medida que tengamos que ir considerando todos y cada uno de los factores críticos listados, iremos completando la última columna de la tabla. Deberemos indicar si nuestro proyecto ha tenido una consideración fuerte, ligera, débil o ninguna de cada uno de los factores críticos. Lo deseable sería que todos los factores estuviesen considerados de una manera fuerte o ligera. En caso contrario, y encontrándonos en una evaluación intermedia, debemos analizar si no deberíamos incrementar el grado de presencia de ese factor en nuestro proyecto o si, por el contrario, es suficiente la consideración hecha para contribuir de manera eficiente al objetivo final.

Por tanto, deberemos identificar las debilidades del proyecto en los factores críticos de éxito y corregir la formulación del proyecto recursivamente hasta eliminar, dentro lo más posible, los niveles de amenaza demasiado altos en alguna/s de las categorías de la sostenibilidad.

6.2. Obtención precisa de las coordenadas de los establecimientos de salud

Para no incurrir en errores a la hora de determinar la localización exacta de los emplazamientos de la red, se cree necesario imponer el dispositivo GPS como el instrumento más fiable de determinación de las coordenadas geográficas de los establecimientos de salud. Por ello, deberá realizarse un desplazamiento a cada uno de los nodos que integrarán la posible red de telecomunicaciones a desplegar y se almacenarán las coordenadas de los establecimientos de salud implicados obtenidas a partir de dicho dispositivo.

Se recalca la importancia de una buena recolección de esta información para conseguir que el proyecto final sea de la mayor calidad posible; es decir, este primer paso es esencial para el desarrollo de los siguientes ya que con estas ubicaciones se procederá, más tarde, al diseño de la red mediante RadioMobile.

6.3. Parámetros del modelo de propagación

Tal y como dijimos en el apartado 4.2.3.1, el modelo Longley-Rice tiene una serie de variables de entrada que debemos configurar correctamente. A continuación mostramos los valores de cada uno de los parámetros que lo caracterizan.

6.3.1. Refractividad de la superficie, conductividad del suelo y Permitividad relativa al suelo

Las variables refractividad de la superficie, conductividad del suelo y permitividad relativa al suelo tienen una serie de valores que podemos consultar en [HLK82]. Los relativos a la refractividad de la superficie vendrán dados en función del tipo de clima de la zona en la que se vaya a intervenir mientras que los valores de la conductividad y permitividad relativa lo harán en función del tipo de suelo en el área de actuación. Representaremos esta información de manera

Categorías de Sostenibilidad		Social y cultural	Institucional	Económica	Política	Tecnológica	Presencia en el proyecto
Factores Críticos de Éxito							
Objetivos simples y claros del proyecto		*	*	*	*	*	
Enfoque de plan integral ^a		*	*	*	*	*	
Uso de las TIC para mejorar las actividades de desarrollo rural existentes		*	*	*			
Crear una figura entusiasta del proyecto		*	*	*	*	*	
Incorporar a los grupos sociales excluidos		*					
Incorporar /conocer las leyes específicas sobre TIC influyentes en el proyecto			*		*		
Buen entendimiento del contexto político local					*		
Participación significativa de todos los grupos de la comunidad en todo el proceso del proyecto		*	*		*		
Enfoque en las necesidades locales y sus demandas		*	*				
Crear un punto de información local y un sistema de gestión del conocimiento		*					
Capacitación adecuada			*				
Facilitar la accesibilidad local al proyecto		*	*				
Motivar e incentivar el uso de las TIC en la comunidad		*	*	*			
Enfocarse en la auto-sostenibilidad económica				*			
Alentar a los empresarios locales			*				
Crear sociedades locales		*	*	*			
Elegir la tecnología apropiada		*		*		*	
Crear con las facilidades existentes		*					
Monitorización y evaluación del proyecto		*	*	*	*	*	

Tabla 6.1: *Clasificación de los factores críticos de éxito en función de las categorías de sostenibilidad.*

^a Ayuda a ver cómo el proyecto se puede relacionar con la comunidad rural. Se trata de no enfocarse en resultados inmediatos sino mantener intereses específicos y cumplir con las necesidades de las comunidades rurales para la sostenibilidad duradera.

Tipo de suelo	Permitividad relativa	Conductividad
Tierra promedio	15	0.005
Tierra pobre	4	0.001
Tierra buena	25	0.020
Agua dulce	81	0.010
Agua salada	81	5

Nota: En la mayoría de los casos usar las constantes de tierra promedio.

Tabla 6.2: *Valores de resistividad y permitividad del suelo en función del tipo de terreno.*

Clima	Refractividad
Ecuatorial	360
Continente subtropical	320
Marítimo subtropical	370
Desierto	280
Continental temperado	301
Marítimo temperado, sobre la tierra	320
Marítimo temperado, sobre el mar	350

Nota: Para condiciones promedio usar el clima continental temperado.

Tabla 6.3: *Valores de Refractividad en función del tipo de clima.*

resumida en las Tablas 6.2² y 6.3³ ya que en algunos diseños se ha dado el caso de seleccionar un tipo de clima determinado y asignarle una refractividad distinta a la que le corresponde.

6.3.2. Estudio de los porcentajes idóneos para los distintos parámetros estadísticos del modo de variabilidad

Teniendo en cuenta que el balance de enlace permite calcular la potencia recibida a partir de la potencia transmitida y las ganancias y atenuaciones que aparecen en el trayecto (Ecuación 6.1), y sabiendo que las atenuaciones son mermas en la señal debidas a las características físicas de los elementos, como pueden ser acopladores y líneas de transmisión, y a la propagación en el medio entre las antenas, RadioMobile nos informa sobre un margen relativo de recepción (Ecuación 6.2).

$$P_r(dBm) = P_t - L_t + G_t - L_{bf} + G_r - L_r \quad (6.1)$$

donde L_t y L_r incluyen las pérdidas debidas a los elementos que forman el transmisor y el receptor.

²La permitividad relativa de un material define el grado de polarización eléctrica de la sustancia cuando se somete a un campo eléctrico exterior mientras que la conductividad es la capacidad de un cuerpo de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de sí mismo.

³Por otro lado, la refractividad es el cociente entre la velocidad de propagación en el espacio libre y la velocidad de propagación en el medio que estemos considerando.

$$M(dB) = P_r - R(dBm) \quad (6.2)$$

donde R es el umbral del receptor.

Hasta ahora, el modo estadístico utilizado era Broadcast con unos valores en los parámetros estadísticos (Tabla 4.2) de 90 % del tiempo y 80 % de las localizaciones y situaciones. Estos parámetros, originariamente, fueron desarrollados para considerar y clasificar las variaciones en los niveles de señal medidos de tal manera que describen las condiciones estadísticas del escenario planteado. En resumen, el modo de variabilidad puede ser considerado como la especificación para determinar la fiabilidad de los cálculos.

El resultado del modelo viene determinado por distribuciones acumuladas de atenuación de una, dos o tres dimensiones (dependiendo del modo⁴ que elijamos) en las que la variabilidad del tiempo, localizaciones y situaciones se tienen que tener en cuenta. En [Huf] se describe el algoritmo del modelo Longley-Rice dependiendo de la modalidad de trabajo en la que se esté operando (modo predicción de área o modo punto a punto). Para el segundo modo, obtendremos el quantil $A(q_T, q_L, q_S)$ que nos indica que la atenuación que obtengamos no excederá este valor teniendo en cuenta las fracciones de tiempo, localizaciones y situaciones. Es decir, diremos que en q_S de las situaciones habrá al menos un q_L de las localizaciones donde la atenuación no excede $A(q_T, q_L, q_S)$ durante al menos el q_T del tiempo.

La variabilidad en el tiempo incluye los parámetros a tener en cuenta para considerar las variaciones de los valores medianos tomados por horas de atenuación (por ejemplo, cambios de la refracción atmosférica o de la intensidad de turbulencia atmosférica). El valor que asignemos a esta variabilidad nos dará la fracción de tiempo durante la cual el campo de fuerzas recibido se espera que sea igual o superior al valor mediano de campo calculado, por hora, por el programa. Si asignásemos una probabilidad del 90 % diríamos que durante este porcentaje de tiempo, en el enlace radio considerado, la atenuación no excederá el valor “A” que obtengamos.

La variabilidad por localización se debe tener en cuenta debido a posibles diferencias en los perfiles del terreno o diferencias ambientales entre dos trayectos distintos. Para cuantificar este parámetro, debemos considerar la variabilidad en el tiempo; por lo que si le asignásemos una probabilidad del 80 % diríamos que en dicho porcentaje de localizaciones la atenuación no excede el valor “A” obtenido, al menos, en el 90 % del tiempo (considerado en el párrafo anterior).

En cuanto a la variabilidad por situación, tiene en cuenta una serie de variables que representen efectos que no pueden explicarse o que simplemente se ha decidido no controlar. Si diésemos un valor del 70 % a este parámetro estadístico, diríamos que en este porcentaje habrá al menos el 70 % de las localizaciones donde la atenuación no excederá el valor obtenido durante al menos el 90 % del tiempo.

En el mismo documento citado anteriormente se especifica que cuando se utiliza el modo punto a punto y las estaciones están fijas, no tiene sentido utilizar el parámetro estadístico de la variabilidad de las localizaciones por lo que $q_L = 0,5^5$ y la atenuación que obtendríamos sería $A(q_T, q_S)$. Ahora diríamos que con una probabilidad del 70 %, la atenuación no excederá el valor

⁴Recordemos que los modos de variabilidad eran Spot, Accidental, Mobile y Broadcast.

⁵Dado que las distribuciones implicadas son todas normales, o casi normales, en [Huf] se hace un reescalado de las fracciones y se expresan en términos de desviación normal estándar usando la distribución normal complementaria. Por tanto, $A(q_T, q_L, q_S)$ se convierte en $A(z_T, z_L, z_S)$ donde $z(q) = Q^{-1}(q)$.

que obtengamos para, al menos, un 90 % del tiempo. Así pues, el modo en el que no se tienen en cuenta las localizaciones y que más se ajusta a nuestras necesidades, es el accidental.

Teniendo en cuenta lo anterior, hemos llevado a cabo un estudio de los valores idóneos para los parámetros estadísticos del modelo de variabilidad, en la red del Napo en Perú. Utilizando la herramienta RadioMobile hemos almacenado el margen relativo de recepción (RxRelative) en unas tablas variando los porcentajes de situación y tiempo con el fin de comparar estos valores con el valor real del margen relativo de recepción en cada uno de los puestos de salud analizados. En la Figura 6.1 se recogen los datos obtenidos.

Podemos ver que si seleccionamos el 90 % de las situaciones y del tiempo, el margen relativo de recepción simulado que obtenemos es el más pequeño entre el resto de valores. Esto determinará que en el 90 % de las situaciones, la atenuación no excederá el valor obtenido en el 90 % del tiempo. Así pues, en la Ecuación 6.1, durante estos porcentajes, estaremos restando este valor ya que la atenuación se considera como una merma de la señal tal cual ha sido comentado anteriormente.

Sin embargo, en las tablas de los enlaces entre Tuta Pishco y Negro Urco, Tacsha Curaray y Santa Clotilde y Santa Clotilde y Copal Urco mostradas en la Figura 6.1 observamos que el margen relativo de recepción real es menor al simulado y esto puede deberse a la falta de precisión de los mapas SRTM, a obstrucciones de la línea de vista y/o al mal apuntamiento de las antenas.

Para intentar ajustar con mayor precisión estos porcentajes, para los tres enlaces en los que el margen relativo real es inferior al simulado, probamos a aumentarlos para buscar el valor más próximo a dicho margen real (Figura 6.2). Vemos que para los enlaces de Tacsha Curaray y Santa Clotilde y Santa Clotilde y Copal Urco, conseguimos estar por debajo del margen real de recepción utilizando el porcentaje de 97 % en las situaciones y tiempo. Para el enlace Tuta Pishco y Negro Urco podemos decir que con 90 % de situaciones y tiempo conseguíamos ajustarnos bastante bien al valor real de margen de recepción (diferencia de menos de 1 dB).

Como queremos ser pesimistas para conseguir un valor simulado peor al que luego exista en la realidad, vemos cómo debemos simular los enlaces con este tanto por ciento de situaciones y tiempo para conseguir los mejores resultados reales posibles. Debemos decir que este tanto por ciento del 97 % ha sido obtenido en la red del Napo por lo que probando con otras redes quizás podría variar un poco (1-2 %). En este caso, si eligiésemos cualquier otro porcentaje inferior a este valor, estaríamos restando con una pérdida mayor en la ecuación del balance de enlace por lo que la potencia de recepción disminuiría. Si subajustamos en la simulación y diseñamos todo para que el enlace sea viable, en la realidad obtendremos un valor superior a éste.

En este trabajo, aconsejamos al programa EHAS utilizar unos porcentajes de 95 % de situaciones y tiempo en los próximos diseños de sus redes. Podemos concluir que al aumentar el tanto por ciento, estamos aumentando las pérdidas añadidas a los enlaces por lo que resulta conveniente diseñar las redes suponiendo unas pérdidas mayores, para una vez desplegadas, obtener unos valores mejores a los calculados.

6.4. Definición rigurosa del perfil del terreno en RadioMobile

Dado que para América del Sur, los mapas SRTM son los de mejor resolución, el programa EHAS los utiliza para el diseño de sus redes. Visualizando nuestra red en RadioMobile debemos

		Mazán - Huamán Urco				
% Situaciones	Rx Real	% Tiempo				
	24	90	80	70	60	50
	90	23,5	23,6	23,7	23,7	23,8
	80	29,1	29,2	29,2	29,3	29,3
	70	33	33,1	33,2	33,2	33,3
	60	36,3	36,4	36,4	36,5	36,5
	50	37,8	37,8	37,8	37,8	37,9

(a) Enlace entre Mazán y Huamán Urco.

		Tuta Pishco - Negro Urco				
% Situaciones	Rx Real	% Tiempo				
	20	90	80	70	60	50
	90	20,7	20,9	21	21,1	21,1
	80	26,3	26,4	26,5	26,6	26,7
	70	30,2	30,3	30,4	30,5	30,6
	60	33,5	33,6	33,7	33,8	33,9
	50	35,5	35,5	35,6	35,6	35,6

(b) Enlace entre Tuta Pishco y Negro Urco.

		Tacsha Curaray - Santa Clotilde				
% Situaciones	Rx Real	% Tiempo				
	17	90	80	70	60	50
	90	21,8	22	22,2	22,4	22,6
	80	27,2	27,5	27,7	27,9	28
	70	31,1	31,4	31,6	31,7	31,9
	60	34,4	34,6	34,8	35	35,2
	50	37,4	37,6	37,8	37,9	38

(c) Enlace entre Tacsha Curaray y Santa Clotilde.

		Santa Clotilde - Copal Urco				
% Situaciones	Rx Real	% Tiempo				
	19	90	80	70	60	50
	90	24,6	24,7	24,7	24,7	24,8
	80	30,3	30,3	30,3	30,4	30,4
	70	34,2	34,3	34,3	34,3	34,4
	60	37,6	37,6	37,7	37,7	37,7
	50	39,8	39,9	39,9	39,9	39,9

(d) Enlace entre Santa Clotilde y Copal Urco.

		Copal Urco - San Rafael				
% Situaciones	Rx Real	% Tiempo				
	20	90	80	70	60	50
	90	18,8	19	19,1	19,2	19,2
	80	24,4	24,5	24,6	24,7	24,8
	70	28,3	28,4	28,5	28,6	28,7
	60	31,6	31,7	31,8	31,9	32
	50	34,4	34,5	34,6	34,6	34,7

(e) Enlace entre Copal Urco y San Rafael.

		Angoteros - Tupac				
% Situaciones	Rx Real	% Tiempo				
	17	90	80	70	60	50
	90	16,3	16,4	16,5	16,6	16,7
	80	21,9	22	22,1	22,1	22,2
	70	25,8	25,9	26	26,1	26,1
	60	29,1	29,2	29,3	29,3	29,4
	50	32,1	32,2	32,3	32,4	32,5

(f) Enlace entre Angoteros y Tupac.

Figura 6.1: Margen Relativo de recepción (Rx Relativo) simulado para diferentes porcentajes de situación y tiempo.



		% Tiempo		
		95	97	99
% Situaciones	Tuta - Negro	95	16.8	
		97		13.5
		99		7.3
	Tacsha-Santa	95	18.6	
		97		15.4
		99		9.1
	Santa - Copal	95	21.4	
		97		18.2
		99		12

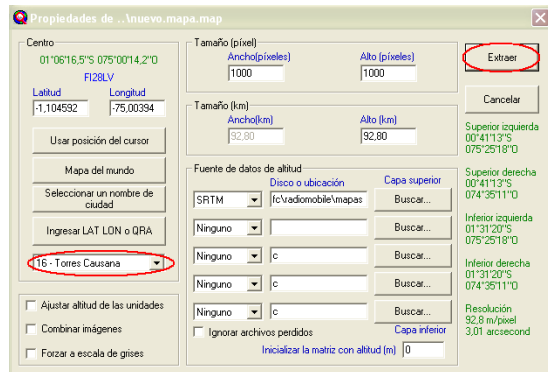
Figura 6.2: Ajuste de los porcentajes de situaciones y tiempo en varios enlaces de la red del Napo.

realizar una serie de pasos con el fin de obtener resultados más ajustados a la realidad.

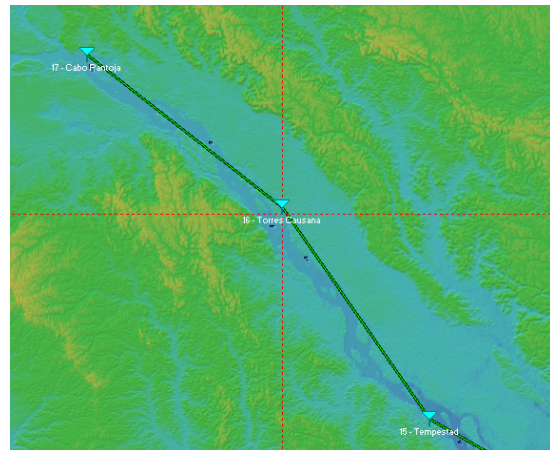
1. Bloqueo de las unidades a corta distancia.

La localización de los establecimientos de salud no corresponde exactamente con el punto de intersección entre la latitud y longitud de los datos SRTM. Por ello, el desarrollador de RadioMobile creó una matriz que casi nunca coincide con la de la base de datos. De hecho, cuando las estaciones son más estacionarias (fijas), las diferencias entre estas matrices aumentan ya que la matriz de RadioMobile coloca las estaciones por debajo de donde están realmente.

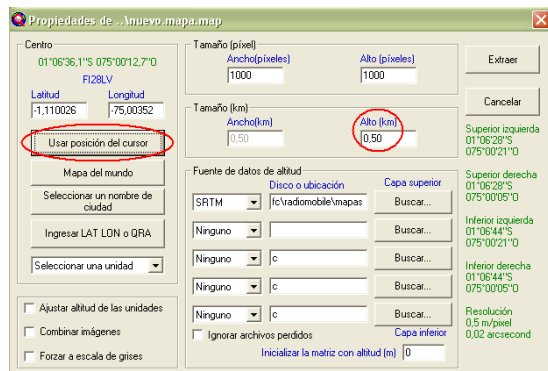
Para solucionarlo debemos acercarnos a la unidad viendo el mapa con el menor alto que podamos (es posible hasta 500m) y bloquear la altura obtenida. Con ello nos estamos asegurando que la matriz contiene toda la información necesaria en la base de datos. En la Figura 6.3 mostramos un ejemplo de cómo se llevaría a cabo este procedimiento. En primer lugar, abriremos una ventana a partir de Archivo/Propiedades del mapa o utilizando el botón . A continuación, deberemos centrar nuestro mapa en el establecimiento de salud en el que deseemos bloquear la altura. Para ello, seleccionaremos el establecimiento y le daremos a “Extraer” en la ventana “Propiedades del Mapa” (Figura 6.3(a)) y más tarde, colocaremos el cursor sobre el establecimiento de salud (Figura 6.3(b)) y le daremos a “Usar posición del cursor” (Figura 6.3(c)). Finalmente, seleccionaremos el alto del mapa deseado (aconsejamos 500m ya que es la mínima distancia posible) y le damos a “Extraer”. De esta forma, lo que visualizaremos es lo que se muestra en la Figura 6.3(d). Una vez realizado todo lo anterior, abriremos una ventana a partir de Archivo/Propiedades de la Unidad o bien dándole al botón  y bloquearemos la unidad (Figura 6.3(e)).



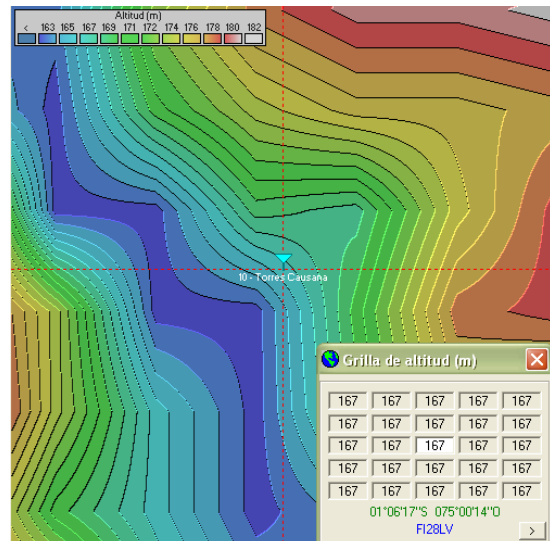
(a) Centrar mapa en el establecimiento de salud deseado.



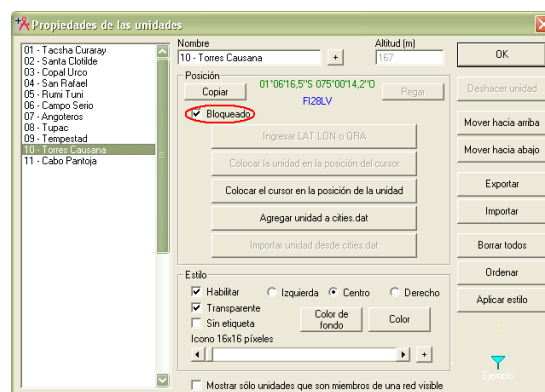
(b) Colocación del cursor sobre el establecimiento de salud.



(c) Usar la posición del cursor y establecer alto del mapa.



(d) Visualización del establecimiento con el alto deseado.



(e) Bloqueo de las unidades a corta distancia.

Figura 6.3: Procedimiento del bloqueo de las unidades.

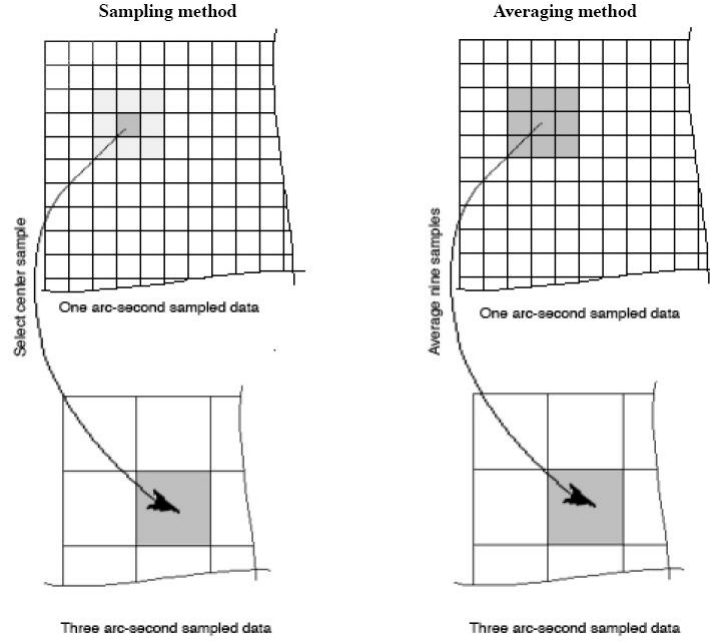


Figura 6.4: Orígenes de los mapas SRTM3.

2. Visualizar el mapa a la resolución del tipo de mapa que estemos utilizando.

La fórmula que debemos seguir es la siguiente:

$$\text{Número de pixels} = \frac{\text{Alto}(m)}{\text{Resolución del mapa}(m)} \quad (6.3)$$

Por ejemplo, si estamos utilizando los mapas SRTM3, en la resolución del mapa pondremos 92,8 m/píxel. Los mapas SRTM3 provienen de SRTM1 [SRT], cogiendo 3x3 píxeles de 30m cada uno y promediándolos para obtener un píxel en SRTM3 (Figura 6.4) [Top].

Debemos tener en cuenta, que hay que seleccionar un alto del mapa en el que se vean los establecimientos a analizar ya que si esto no fuese así la matriz no contendría la información de ambos nodos. Si quisiésemos que el alto del mapa fuese 120 Km (se da por hecho que ambos establecimientos son visibles dentro de este mapa), para que la resolución del mapa coincida con la del SRTM3, deberemos ver el mapa con 1293 píxeles (Figura 6.5).

3. Visualizar los enlaces radio a la misma resolución del mapa que utilizemos.

Para no perder resolución debemos modificar el número de registros mediante la siguiente expresión:

$$\text{Número de registros} = \frac{\text{Distancia del enlace mayor}(m)}{\text{Resolución del mapa}(m)} \quad (6.4)$$

El número de registros indica el número de puntos que utiliza RadioMobile para realizar el balance de enlace del modelo de propagación. Es decir, si el número de registros fuese 200, en el enlace radio de RadioMobile se estarían considerando 200 puntos para calcular el balance de enlace del modelo de propagación. Cuanto mayor sea el número de registros más

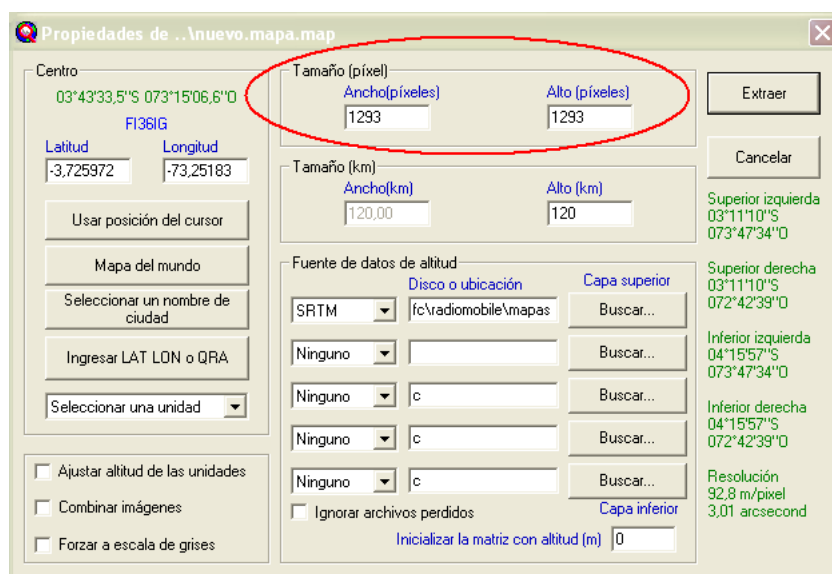


Figura 6.5: Número de píxeles con el que visualizaremos el mapa.

exacto será el modelo; por lo que estará limitado por el enlace mayor ya que si conseguimos ajustarnos a este enlace, la resolución de enlaces menores no se verá dañada. No ocurriría lo mismo si hubiese algún enlace más largo al añadido en la fórmula ya que estaríamos subajustando el número de registros necesarios; es decir, el número de registros obtenido para el enlace mayor es un valor mínimo. Con esto, conseguiremos que la resolución del mapa sea exactamente igual que la de la base de datos de los mapas utilizados.

Por ejemplo, si en una red el enlace mayor fuese de 43 Km, el número de registros que debemos usar es 463. Para llegar a esta ventana, debemos ir al Menú “Opciones”, seleccionar “Datos de Altitud” e insertar el número de registros calculado (Figura 6.6).

Realizando estos tres pasos conseguimos obtener el margen relativo en recepción (Rx Relativo) correcto ya que anteriormente, sin considerar estas tres recomendaciones, obteníamos un valor u otro dependiendo de la resolución o altura a la que viésemos nuestro enlace.

El punto 1 y 3 deben realizarse una sola vez cuando se conoce la posición exacta de cada uno de los nodos implicados en la red y cuando se sabe la distancia del enlace mayor. Por el contrario, el punto 2 debe realizarse cada vez que queramos visualizar un enlace concreto entre dos puntos ya que debemos ajustar cada parámetro a su valor exacto.

6.4.1. Cobertura de la Tierra

Actualmente se puede añadir a RadioMobile un nuevo paquete de cartografía digital implementado por dicha herramienta a partir de la versión 8.9.3. Se le denomina cobertura de la tierra (Land Cover) [Hea00] y fue desarrollado en el año 2000 por el “Laboratory for Global Remote Sensing Studies” del Departamento de Geografía de la Universidad de Maryland (USA). Esta opción se refiere a un conjunto de datos digitales con información de interés sobre la superficie terrestre: vegetación, edificios, ... RadioMobile permite la importación de ficheros Land Cover

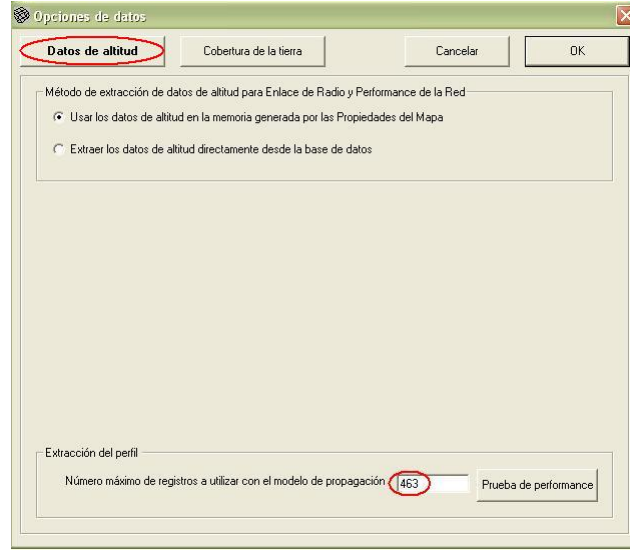


Figura 6.6: Número de registros empleados en el balance del enlace.

para mejorar la exactitud en el cálculo de pérdidas adicionales en los radioenlaces, debidas a entornos urbanos o masas forestales.

Este paquete, dadas las características propias de las zonas donde se despliegan las redes de EHAS, sirve de gran ayuda para optimizar el diseño de las mismas.

Cuando alguno de los extremos de un sistema de radiocomunicación se encuentra en el interior de un terreno boscoso o existe obstrucción del radio enlace por un obstáculo vegetal, hay una pérdida adicional por penetración de las ondas a través de la vegetación. Por ello, la Asamblea de Radiocomunicaciones de la ITU, considerando que la atenuación debida a la vegetación puede ser importante en diversas aplicaciones prácticas, recomienda el contenido de la Rec. UIT-R P.833-6 para evaluar la atenuación debida a la vegetación en frecuencias comprendidas entre 30 MHz y 60 GHz.

Aquí se especifica que las pérdidas totales experimentadas por una señal que se propaga a más de 1 GHz a través de árboles vienen dadas por la combinación de distintos términos de pérdidas tal y como se muestra en la Ecuación 6.5 donde L_{sidea} y L_{sideb} están en función de las pérdidas de difracción totales en torno a cada lado de la vegetación, L_{top} depende de las pérdidas de difracción totales calculadas utilizando el método de la Recomendación UIT-R P.526 para bordes doblemente aislados, L_{ground} son las pérdidas experimentadas por la onda reflejada en el suelo y L_{scat} es la atenuación debida a la dispersión a través de la vegetación.

$$L_{total} = -10 \cdot \log \left\{ 10^{\frac{-L_{sidea}}{10}} + 10^{\frac{-L_{sideb}}{10}} + 10^{\frac{-L_{top}}{10}} + 10^{\frac{-L_{ground}}{10}} + 10^{\frac{-L_{scat}}{10}} \right\} \quad (6.5)$$

Además observaron que cuando un enlace atraviesa vegetación, la amplitud de la señal recibida varía rápidamente cuando la vegetación se mueve; es decir, cuando las hojas de los árboles se mueven, el nivel de señal varía dinámicamente a lo largo de un amplio margen, lo que puede hacer inviable la prestación de un servicio. Se realizaron diversas mediciones del nivel de una señal que atraviesa árboles en función del tiempo, y dichas mediciones han mostrado una reducción media

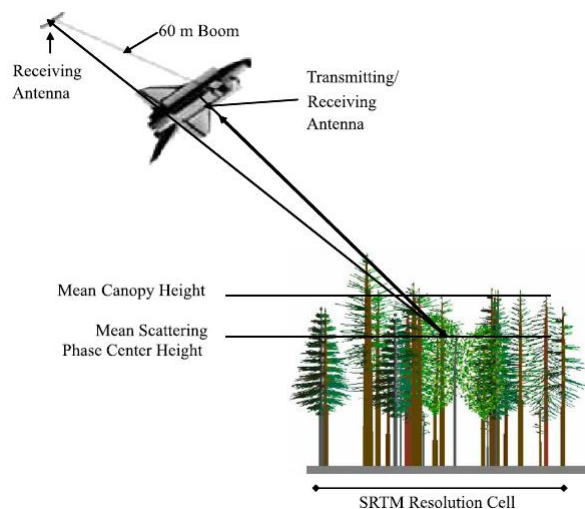


Figura 6.7: Representación conceptual de una masa forestal indicando la altura media de la cobertura y la del centro de fase de dispersión.

del nivel de la señal de unos 20 dB por árbol.

Analizando en detalle [Ken06] [HF05] [Fea07] [BSP05], los mapas SRTM no siempre muestran la superficie de terreno real. En vez de eso, muestra una altura efectiva determinada por la fase de un vector suma que contiene todas las señales recibidas dentro de un pixel escaneado. Si el pixel contiene terreno descubierto, la fase refleja la altura de la superficie; si el terreno está cubierto con vegetación, la señal recibida está influenciada por la altura, estructura y densidad de la vegetación. Si la vegetación es lo suficientemente densa, no se recibirá o casi no se recibirá señal procedente de la superficie bajo la vegetación. Entonces, los claros en bosques densos o junglas son fácilmente detectados. A partir de estos datos, algunos estudios han determinado la altura de la vegetación extrayendo la tierra descubierta de los mapas SRTM DEMs [Kea04] [Sea06].

Por tanto, si hay una región con gran densidad de árboles, la altitud que da el SRTM es la del primer eco reflejado. Claramente, no tiene por qué ser la altura exacta de los árboles en la zona. Lo mismo ocurre en zonas urbanas altamente pobladas aunque en este caso habrá más imprecisiones ya que los edificios que devuelven los ecos son mucho más pequeños que la resolución horizontal de los mapas SRTM. En este caso, las alturas representarán la media de la altura de los edificios dentro del pixel más que la altura del terreno en la que se encuentran estos edificios [Fea07]. Esta información es independiente del uso del paquete Land Cover ya que como hemos dicho anteriormente, éste simplemente nos da información más precisa sobre las pérdidas adicionales de los enlaces (Figura 6.7).

Para añadir este paquete es necesario bajarse los datos de la página web [wLC]. El mapa de la cobertura terrestre está disponible en dos proyecciones⁶: Goode y Plate Carrée (Figura 6.8). La

⁶Las proyecciones modificadas son aquellas que tratan de representar fielmente la superficie de la Tierra, aún a costa de forzar las formas de las curvas e incluso de romper la continuidad del mapa. Todas ellas tratan de resolver la cuadratura del círculo, es decir, tratan de construir (matemáticamente) un cuadrado que abarque la misma superficie que un círculo. Sabemos que esto no es posible, pero algunas de las curvas usadas para trazar la

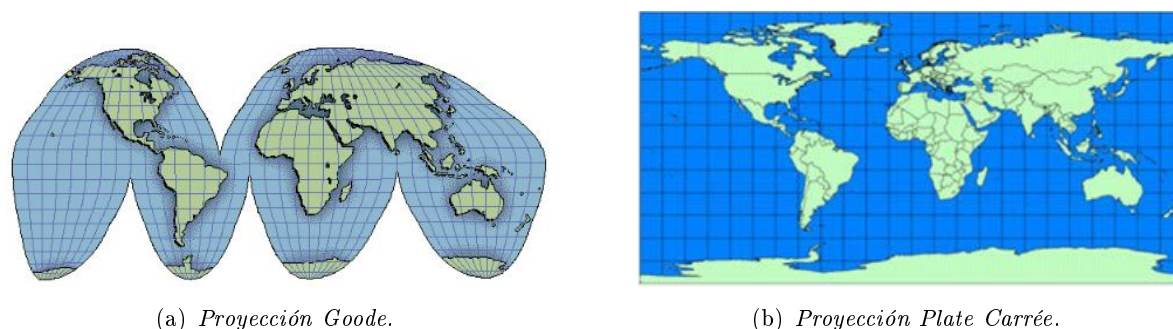


Figura 6.8: Tipos de proyecciones del mapa de LandCover.

primera de ellas se trata de una proyección discontinua en la que la Tierra se representa en partes irregulares unidas. Surge de la combinación de la proyección sinusoidal⁷ en la zona ecuatorial y de la proyección homolográfica⁸ en las regiones polares. Los mapas presentan interrupciones que fuerzan a representar dos veces partes de la Tierra como Groenlandia, Islandia o Asia Oriental. Cada continente se sitúa en el centro de la proyección, lo que da como resultado una mejor representación de sus contornos. Se consigue así mantener la sensación de esfera y una distorsión mínima de las zonas continentales pero con huecos en las superficies oceánicas (Figura 6.8(a)).

En cuanto a la proyección Plate Carrée, se trata de una proyección cilíndrica. El cartógrafo considera la superficie del mapa como un cilindro, secante o tangente a la esfera, que rodea al globo terráqueo tocándolo en el ecuador. Los meridianos y paralelos son líneas rectas que se cortan perpendicularmente entre sí (proyección cilíndrica simple). El mapa resultante representa la superficie del mundo como un rectángulo con líneas paralelas equidistantes de longitud y líneas paralelas de latitud con separación desigual. La malla de meridianos y paralelos se dibuja proyectándolos sobre el cilindro suponiendo un foco de luz que se encuentra en el centro del globo. Los meridianos se deforman en altas latitudes porque son equidistantes; debido a la curvatura del globo terráqueo, los paralelos de latitud más próximos a los polos aparecen cada vez menos espaciados entre sí. Como las formas de las áreas se van distorsionando a medida que se acercan a los polos, este tipo de proyección se suele usar para las zonas intertropicales, comprendidas entre los 40°N y los 40°S (Figura 6.8(b)).

Para añadir esta funcionalidad debemos ir al Menú “Opciones”, seleccionar “Datos de Altitud” y dirigirnos a “Cobertura de la Tierra”. Una vez aquí, debemos escribir la ruta donde tenemos la imagen del mapa LandCover tal y como aparece en la Figura 6.9. La proyección que finalmente elijamos dependerá de la zona geográfica en la que nos encontremos siguiendo las indicaciones que se han dado anteriormente.

red de meridianos y paralelos dan soluciones muy interesantes.

⁷Los paralelos son rectas horizontales equidistantes, el meridiano central es una recta perpendicular a ellas y los restantes meridianos son curvas. En esta proyección sólo son verdaderas las distancias a lo largo de todas las latitudes y el meridiano central. Es una proyección equivalente (conserva las áreas).

⁸Proyección de Mollweide: El ecuador tiene doble longitud que el meridiano central y está dividido en partes iguales que marcan los pasos de los meridianos, que quedan representados por elipses. Los paralelos se representan por rectas horizontales paralelas al ecuador y su separación queda determinada por la condición de que las áreas de las franjas entre paralelos sean semejantes en la superficie terrestre. Por ello esta proyección también es equivalente.

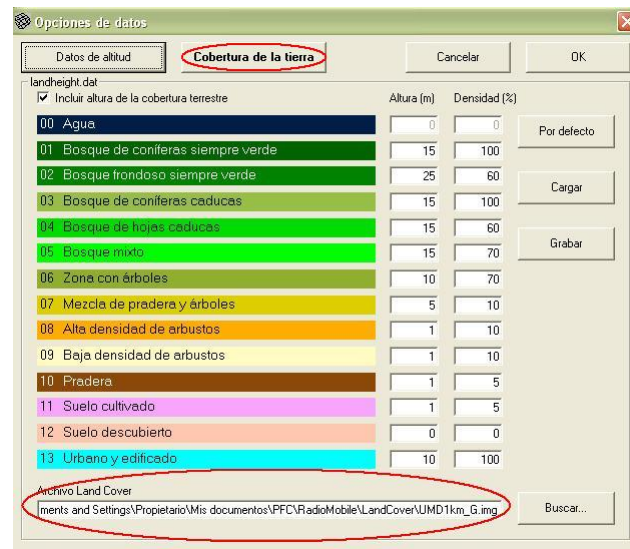



Figura 6.9: Introducción de la ruta en la que se encuentra el mapa de LandCover.

Tras ello, para activarlo seleccionaremos “Incluir altura de la cobertura terrestre” e introduciremos, o dejaremos los valores por defecto, en los tipos de vegetación y sus densidades (Figura 6.10(a)).

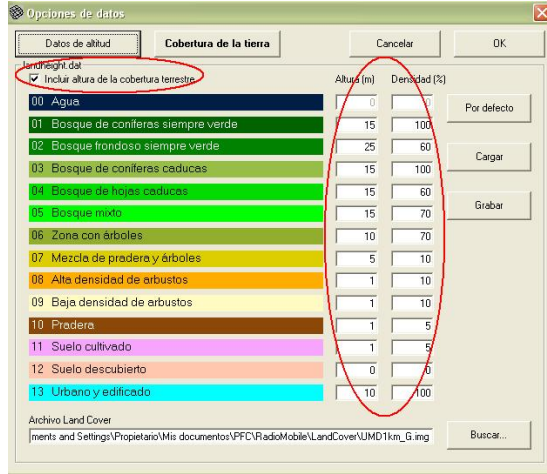
Siempre que tengamos activada esta función dejaremos de ver la sección de Pérdida Adicional (presente si vamos al Menú “Archivo” y seleccionamos “Propiedades de redes” (Figura 6.10(b)) donde incluíamos el porcentaje de ciudad o bosque idóneo para cada caso que se tenía en cuenta en el modelo de propagación. Por cada porcentaje de bosque o ciudad que añadamos en este campo, RadioMobile sumará 0,263 dB de pérdidas adicionalmente; por lo que seguirá una regla de tres. (Equivalencia 6.6).

$$1 \% \text{ de Bosque o Ciudad} \longrightarrow 0,263 \text{ dB} \quad (6.6)$$

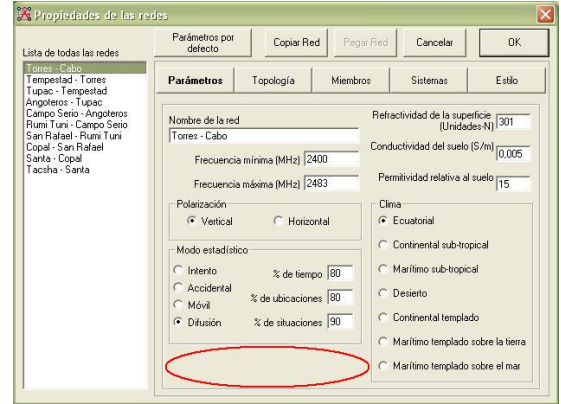
Se debe tener en cuenta que RadioMobile para porcentajes inferiores al 4 % añadirá una pérdida adicional por bosque o ciudad de 1dB ya que no considera pérdidas por debajo de este valor.

Cuando tengamos esta funcionalidad activada, al consultar el radioenlace entre dos puntos veremos la presencia de la vegetación tal y como se muestra en la Figura 6.11(a). Además, podemos agregar esta información a nuestro mapa para ver la vegetación que tenemos en el área de estudio. Para ello, debemos seleccionar el botón , seleccionar “Cobertura de la Tierra”, indicar donde queremos que aparezca la leyenda, elegir si queremos que nos copie, agregue, multiplique o nos añada bit a bit esta nueva información sobre el mapa utilizado y seleccionar “Dibujar” de la misma forma que aparece en la Figura 6.11(b). Al realizar este paso, comenzará a combinar las imágenes y nos preguntará si queremos mantener la información sobre la misma imagen o sobre otra nueva (Figura 6.11(c)). Elegiremos lo que queramos hacer y nos mostrará la vegetación de la zona que estemos consultando tal como aparece en la Figura 6.11(d).

Al introducir Land Cover, RadioMobile evalúa el tipo de terreno y ajusta el porcentaje de bosque o ciudad en función de la densidad presente en las opciones de la cobertura de la tierra



(a) Valores en las opciones de Cobertura de la Tierra.



(b) Ausencia del campo Pérdida adicional en Propiedades de las redes.

Figura 6.10: Activación e inclusión de Land Cover.

(Figura 6.10). Debemos tener en cuenta que las densidades consideradas en la Figura 6.10(a) siguen una regla de tres (Equivalencia 6.7) y que por debajo del 16 % nos añadirá 1 dB de pérdidas debido a que no incluye pérdidas por debajo de este valor en decibelios.

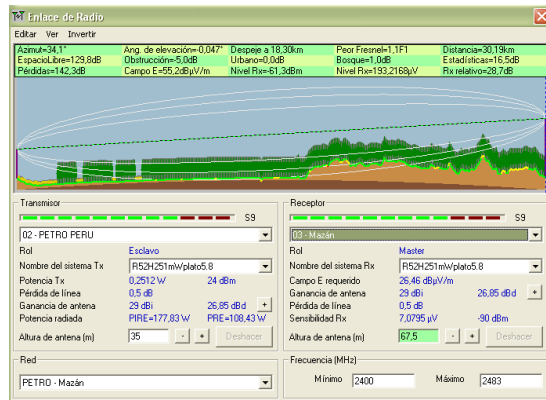
$$100 \% \text{ de Densidad} \longrightarrow 6,9 \text{ dB de pérdidas} \quad (6.7)$$

Los distintos tipos de bosque o suelo provienen de la clasificación de la vegetación propuesta por la Universidad de Maryland. En la Figura 6.13 mostramos una comparativa entre las clases de vegetación definidas por la universidad anteriormente citada y por el Programa Internacional de la Geosfera-Biosfera - Datos y Servicios de Información (IGBP - DIS), que se trata de un conjunto de datos a nivel global cada 1 Kilómetro de la cubierta terrestre compuesto por 17 clases. A éstos se le ha añadido un factor de altura y densidad.

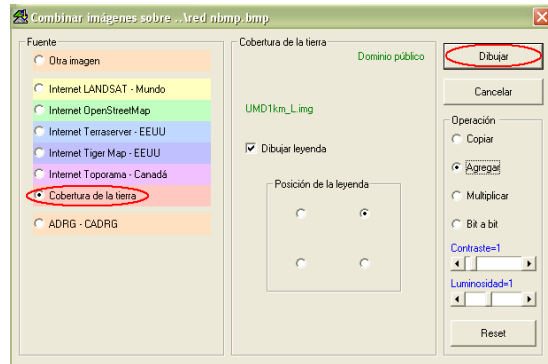
Los valores por defecto son los calculados por el desarrollador de RadioMobile y se basan en sus aproximaciones iniciales. La penetración del rayo directo en el tipo de vegetación (clutter) depende de la primera zona de Fresnel por lo que se pueden observar pérdidas incluso si el rayo directo está por encima de la copa de los árboles. Así pues, las pérdidas adicionales por vegetación se calculan teniendo en cuenta las características de la vegetación en el área de la primera zona de Fresnel; es decir, teniendo en cuenta que todo lo que se encuentra dentro de la primera zona de Fresnel corresponde al 100 % de la misma, el desarrollador de RadioMobile calcula el porcentaje de área que ocupa la vegetación que corta el rayo de la primera zona de Fresnel y lo multiplica por la densidad de la vegetación presente en esa zona (Ecuación 6.8).

$$\% \text{ Bosque} = \frac{\text{Área de bosque en la primera zona de Fresnel} \cdot 100}{\text{Área de la primera zona de Fresnel}} \cdot \text{Densidad de la vegetación} \quad (6.8)$$

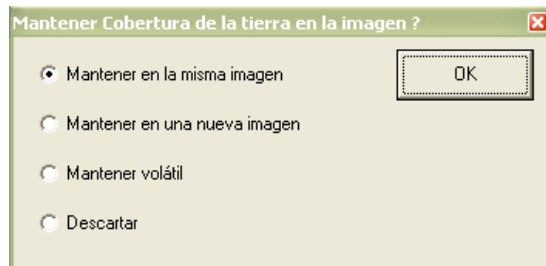
Por ejemplo, para el caso del enlace entre Hospital Regional y Petro Perú en la red del Napo en Perú podemos ver que con LandCover obtenemos unas pérdidas por bosque de 4,2 dB (Figura



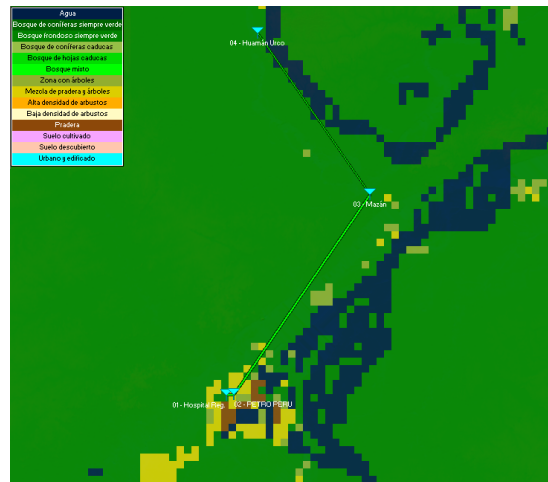
(a) Visualización de un radioenlace con la cobertura de la tierra activada.



(b) Selección de la visualización de la cobertura de la tierra sobre el mapa utilizado.



(c) Selección de la visualización de LandCover sobre la misma imagen o sobre una nueva.



(d) Vegetación presente en una zona concreta.

Figura 6.11: Visualización de LandCover.

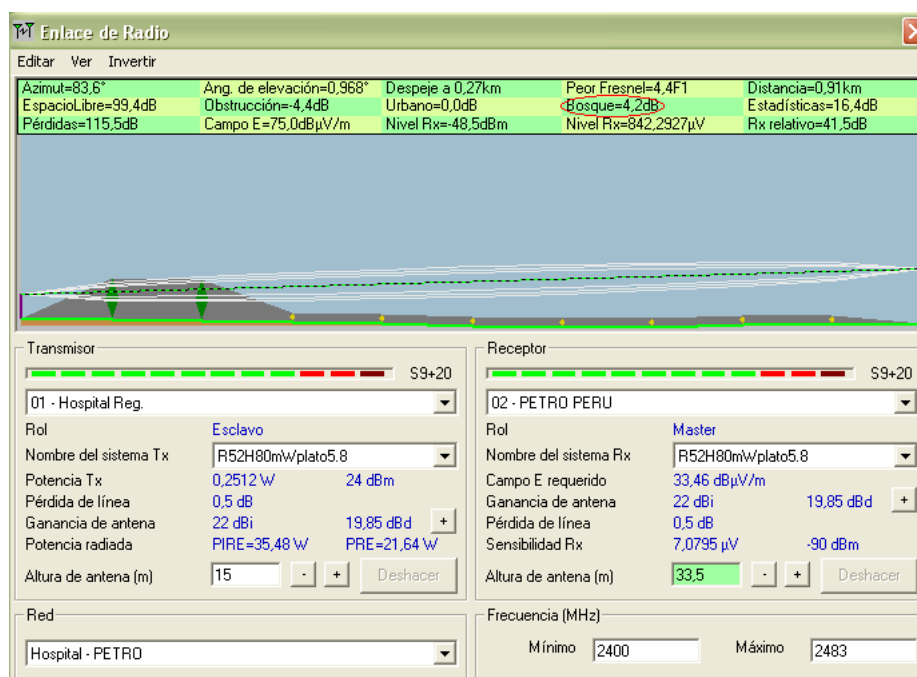


Figura 6.12: Pérdida adicional por Bosque de 4,2 dB entre Hospital Regional y Petro Perú.

6.12). El tipo de vegetación que nos afecta en este radioenlace es Bosque frondoso siempre verde. Utilizando la equivalencia 6.6 y viendo a qué porcentaje de bosque equivalen estas pérdidas obtenemos 15,97%. Por tanto, si desactivamos la funcionalidad LandCover de RadioMobile y ponemos en el campo de Pérdida Adicional que ahora aparece, el 15,97 % en bosque, vemos cómo efectivamente, obtenemos estas pérdidas por penetración en bosque.

Sin embargo, debemos tener en cuenta que RadioMobile, cuando no incluye la cobertura de la Tierra, el porcentaje que nosotros incluimos lo considera con una densidad del 100 %. Como la densidad del bosque frondoso siempre verde es del 60 % tal y como aparece en los valores por defecto, no podemos comparar el porcentaje de bosque que da RadioMobile cuando tenemos activado LandCover y cuando no lo está. Así por tanto, siguiendo con este caso, el 15,97 % que obteníamos sin LandCover (100 % de densidad) equivale a un 9,58 % de bosque con LandCover (considerando el 60 %). Este valor coincide con el que calcularíamos con la Ecuación 6.8.

Realizamos un cálculo del número de pixels en el área de la primera zona de Fresnel y en el área del bosque presente dentro del área de la primera zona de Fresnel para ver si efectivamente obteníamos un porcentaje aproximado del 9,6 % y así poder concluir que nuestras hipótesis eran ciertas (Figura 6.14).

Por tanto, en esta situación, con el cálculo del número de pixels obtenemos que el área de bosque dentro de la primera zona de Fresnel corresponde al 8,916 % lo que se ajusta en gran medida al 9,6 % obtenido anteriormente. Este 0,684 % de diferencia correspondería a que se incluyesen un 0,18 dB más de atenuación por bosque en el caso del porcentaje de pérdidas mayor.

Según comenta el propio desarrollador en su página web, la implementación del efecto de Land Cover se basa en una mezcla de métodos empíricos con la teoría de ondas. La altura de los

University of Maryland vegetation classes Cover types in common with IGBP	IGBP-DIS Land Cover Working Group vegetation classes Cover types in common with UMd
Evergreen Needleleaf Forests: lands dominated by trees with a per cent canopy cover > 60% and height exceeding 5 m. Almost all trees remain green all year. Canopy is never without green foliage.	Evergreen Needleleaf Forests: lands dominated by trees with a per cent canopy cover > 60% and height exceeding 2 m. Almost all trees remain green all year. Canopy is never without green foliage.
Evergreen Broadleaf Forests: lands dominated by trees with a per cent canopy cover > 60% and height exceeding 5 m. Almost all trees remain green all year. Canopy is never without green foliage.	Evergreen Broadleaf Forests: lands dominated by trees with a per cent canopy cover > 60% and height exceeding 2 m. Almost all trees remain green all year. Canopy is never without green foliage.
Deciduous Needleleaf Forests: lands dominated by trees with a per cent canopy cover > 60% and height exceeding 5 m. Trees shed their leaves simultaneously in response to cold seasons.	Deciduous Needleleaf Forests: lands dominated by trees with a per cent canopy cover > 60% and height exceeding 2 m. Consists of seasonal needleleaf tree communities with an annual cycle of leaf-on and leaf-off periods.
Deciduous Broadleaf Forests: lands dominated by trees with a per cent canopy cover > 60% and height exceeding 5 m. Trees shed their leaves simultaneously in response to dry or cold seasons.	Deciduous Broadleaf Forests: lands dominated by trees with a per cent canopy cover > 60% and height exceeding 2 m. Consists of seasonal broadleaf tree communities with an annual cycle of leaf-on and leaf-off periods.
Mixed Forests: lands dominated by trees with a per cent canopy cover > 60% and height exceeding 5 m. Consists of tree communities with interspersed mixtures or mosaics of needleleaf and broadleaf forest types. Neither type has < 25% or > 75% landscape coverage.	Mixed Forests: lands dominated by trees with a per cent canopy cover > 60% and height exceeding 2 m. Consists of tree communities with interspersed mixtures or mosaics of the other four forest cover types. None of the forest types exceeds 60% of the landscape.
Woodlands: lands with herbaceous or woody understories and tree canopy cover of > 40% and < 60%. Trees exceed 5 m in height and can be either evergreen or deciduous.	Woody savannas: lands with herbaceous and other understory systems, and with forest canopy between 30–60%. The forest cover height exceeds 2 m.
Wooded Grasslands/Shrublands: lands with herbaceous or woody understories and tree canopy cover of > 10% and < 40%. Trees exceed 5 m in height and can be either evergreen or deciduous.	Savannas: lands with herbaceous and other understory systems, and with forest canopy between 10–30%. The forest cover height exceeds 2 m.

(a)

University of Maryland vegetation classes Cover types in common with IGBP	IGBP-DIS Land Cover Working Group vegetation classes Cover types in common with UMd
Closed Bushlands or Shrublands: lands dominated by bushes or shrubs. Bush and shrub per cent canopy cover is > 40%. Bushes do not exceed 5 m in height. Shrubs or bushes can be either evergreen or deciduous. Tree canopy cover is < 10%. The remaining cover is either barren or herbaceous.	Closed Shrublands: lands with woody vegetation less than 2 m tall and with shrub-canopy cover > 60%. The shrub foliage can be either evergreen or deciduous.
Open Shrublands: lands dominated by shrubs. Shrub canopy cover is > 10% and < 40%. Shrubs do not exceed 2 m in height and can be either evergreen or deciduous. The remaining cover is either barren or of annual herbaceous type.	Open Shrublands: lands with woody vegetation less than 2 m tall and with shrub canopy cover between 10–60%. The shrub foliage can be either evergreen or deciduous.
Grasslands: lands with continuous herbaceous cover and < 10% tree or shrub canopy cover.	Grasslands: lands with herbaceous types of cover. Tree and shrub cover is less than 10%.
Croplands: lands with > 80% of the landscape covered in crop-producing fields. Note that perennial woody crops will be classified as the appropriate forest or shrubs land cover type.	Croplands: lands covered with temporary crops followed by harvest and a bare soil period (e.g. single and multiple cropping systems). Note that perennial woody crops will be classified as the appropriate forest or shrubs land cover type.
Barren: lands of exposed soil, sand, rocks, snow or ice which never have more than 10% vegetated cover during any time of the year.	Barren: lands of exposed soil, sand, rocks or snow and never has more than 10% vegetated cover during any time of the year.
Urban and Built-up: land covered by buildings and other man-made structures. Note that this class will not be mapped from the AVHRR imagery but will be developed from the populated places layer that is part of the Digital Chart of the World (Danko 1992).	Urban and Built-up: land covered by buildings and other man-made structures. Note that this class will not be mapped from the AVHRR imagery but will be developed from the populated places layer that is part of the Digital Chart of the World (Danko 1992).
Water bodies: oceans, seas, lakes, reservoirs, and rivers. Can be either fresh or salt water.	Water bodies: oceans, seas, lakes, reservoirs, and rivers. Can be either fresh or salt water.
	Covers not in common with UMd
	Permanent Wetlands: Lands with a permanent mixture of water and herbaceous or woody vegetation that cover extensive areas. The vegetation can be present in either salt, brackish, or fresh water.
	Cropland/Natural Vegetation Mosaics: lands with a mosaic of croplands, forest, shrublands, and grasslands in which no one component comprises more than 60% of the landscape.
	Snow and Ice: lands under snow and/or ice cover throughout the year.

(b)

Figura 6.13: Comparación de la definición de las clases de vegetación definidas por la Universidad de Maryland y por el IGBP-DIS.



(a) 22665 pixels dentro de la primera zona de Fresnel.



(b) 3368 pixels de Bosque dentro de la primera zona de Fresnel.

Figura 6.14: Número de pixels en el área de la primera zona de Fresnel y del bosque dentro de la misma.

árboles y de los edificios se basa en una estimación para el caso medio.

6.5. Realización de un experimento para estudiar las condiciones necesarias que aseguran el aislamiento mutuo entre estaciones WiFi con múltiples interfaces radio

La interferencia mutua que se produce entre radios coubicadas en una torre hace que el throughput se vea limitado debido a la pérdida de paquetes como consecuencia de las interferencias. Se ha llevado a cabo un experimento para determinar la caída de throughput que tiene lugar en un nodo multisalto compuesto por un único sistema empujado con dos tarjetas inalámbricas. Las tarjetas para las que se ha analizado este comportamiento son de la marca Ubiquiti: CM9 y SR2, por lo que los resultados son específicos para las mismas. Además, realizamos otras pruebas para especificar la separación que debe existir entre dos sistemas empujados, con una tarjeta inalámbrica cada uno de ellos, colocados en el mismo nodo. Debemos tener en cuenta los escenarios mostrados en la subsección 4.1.1.2 y el material citado en la subsección 4.2.4.1 para completar este apartado.

6.5.1. Análisis de los resultados

Tal cual se deduce de los resultados del experimento que veremos a continuación, debemos decir que en este trabajo hemos aportado la herramienta para llevarlo a cabo de una forma rigurosa. Esto es debido a que en el laboratorio donde se estaban realizando las mediciones iban a colocar unos AP por lo que se contaba con el tiempo justo para realizar únicamente varias mediciones (2 en concreto). Por ello se pensó, después de todo el trabajo de programación realizado, intentar obtener algunos resultados primarios para más tarde, realizar el experimento en las mejores condiciones.

Teniendo una ubicación libre de interferencias sólo se necesitarían una media de 22 días

para llevar a cabo todas y cada una de las mediciones necesarias para llegar a unos resultados concluyentes. Para el cálculo de los días estamos considerando que realizaremos 6 mediciones para cada una de las distancias y modos (802.11a, 802.11g y cada red operando en un modo distinto), que trabajaremos 8 horas diarias en el experimento y que:

- Tarjetas CM9: Para todas las frecuencias en estudio de 802.11a, 802.11g y para cuando una red se encuentra en 802.11a y la otra en 802.11g, las pruebas tardan una media de 3 horas para cada una de las distancias. Por tanto, para el escenario con 3 nodos y tarjetas CM9 tardaríamos una media de 3 horas. Para el escenario con 4 nodos, debemos multiplicar las horas calculadas en el escenario con 3 nodos por el número de distancias que queramos estudiar. En nuestro caso eran, en un principio, 6; por lo que resultaría un tiempo total medio de 18 horas.
- Tarjetas SR2: Como ya hemos indicado anteriormente, para todas las frecuencias consideradas en cada uno de los modos se tardan 3 horas por lo que, como este tipo de tarjeta sólo opera en el modo 802.11g, para el escenario con 3 nodos tardaremos una media de 1 hora y para el escenario con 4 nodos tardaremos una media de 6 horas.
- Tarjetas CM9-SR2: Para el escenario con 3 nodos debemos realizar las mediciones para 802.11g lo que nos llevaría 1 hora. En el caso del escenario con 4 nodos, debemos multiplicar estas horas por el número de distancias a analizar; por tanto, 6 horas.

En cuanto a la forma de realizar el cálculo de la caída de throughput, dado que con el código programado obtenemos los flujos desde cada uno de los nodos al resto de ellos, determinamos dicha caída en el repetidor dependiendo de si estamos ante el escenario con tres o cuatro nodos. En el escenario con 3 nodos, el cálculo de la caída en el sentido de la comunicación Emisor→Receptor se lleva a cabo siguiendo la Ecuación 6.9. Para el otro sentido, Receptor→Emisor, seguimos la Ecuación 6.10. Finalmente, la caída total de throughput en el repetidor vendrá dada por la Ecuación 6.11. Sin embargo, en el escenario con 4 nodos debemos tener en consideración otros flujos. Por ello, para el sentido de la comunicación Emisor→Receptor emplearemos la Ecuación 6.12 y para el sentido Receptor→Emisor, seguimos la Ecuación 6.13. Para el cálculo de la caída total de throughput utilizaremos la misma ecuación que en el caso del escenario con 3 nodos (Ecuación 6.11).

$$\text{Caída Throughput } E \rightarrow R = \frac{(E \rightarrow \text{Rep} - E \rightarrow R) + (\text{Rep} \rightarrow R - E \rightarrow R)}{2} \quad (6.9)$$

$$\text{Caída Throughput } R \rightarrow E = \frac{(\text{Rep} \rightarrow E - R \rightarrow E) + (R \rightarrow \text{Rep} - R \rightarrow E)}{2} \quad (6.10)$$

$$\text{Caída Throughput}_{Total} \text{ Rep} = \text{Caída Throughput } E \rightarrow R + \text{Caída Throughput } R \rightarrow E \quad (6.11)$$

$$\text{Caída Throughput } E \rightarrow R = \frac{(E \rightarrow \text{Rep1} - E \rightarrow R) + (\text{Rep2} \rightarrow R - E \rightarrow R)}{2} \quad (6.12)$$

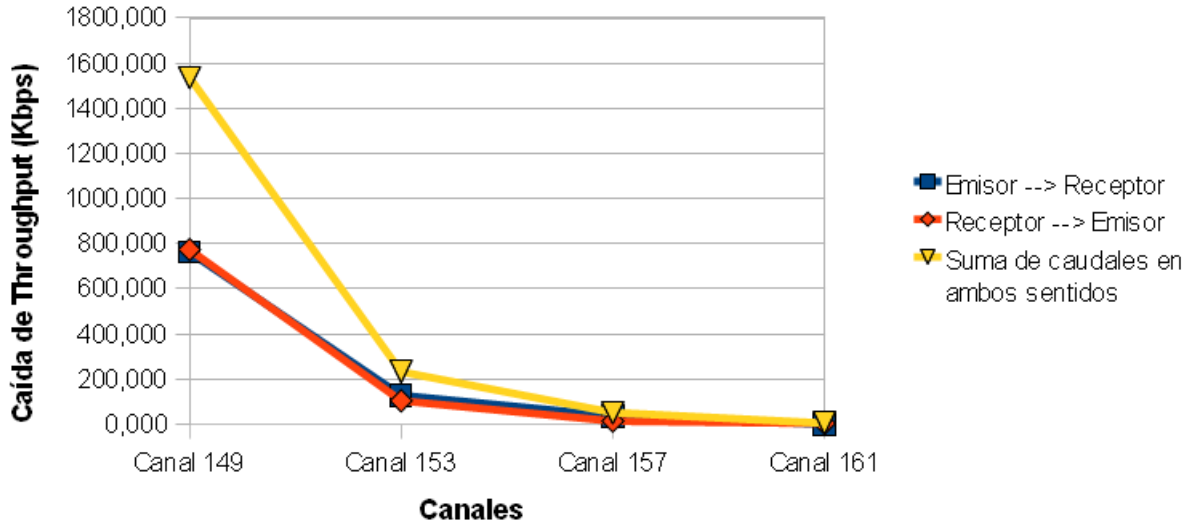


Figura 6.15: Variación de la caída de Throughput, en el escenario con 3 nodos y tarjetas CM9, en función de los canales en 802.11a.

$$\text{Caída Throughput } R \rightarrow E = \frac{(\text{Rep1} \rightarrow E - R \rightarrow E) + (R \rightarrow \text{Rep2} - R \rightarrow E)}{2} \quad (6.13)$$

Pasemos ahora a analizar los resultados obtenidos diferenciando para las tarjetas CM9 y para las SR2.

6.5.1.1. Tarjetas CM9

6.5.1.1.1. Modo 802.11a

En el escenario con 3 nodos, cuando las dos interfaces de la placa WRAP están ocupadas por tarjetas inalámbricas CM9, al mantener la red de Emisor→Repetidor en el canal 149 y variar la frecuencia (desde el canal 149 hasta el 161) en la red Repetidor→Receptor, vemos cómo cuando ambas redes se encuentran en el mismo canal, la caída de throughput es mayor que cuando estamos en canales ortogonales. Esto era lo esperado debido a que cuando ambas redes están en el mismo canal al intentar decodificar sus señales, interpretan las señales de la otra red como colisiones y siguiendo el modo de acceso al medio CSMA/CA, se habrán transmitido menos tramas de las que se esperaban transmitir en ausencia de colisiones. Por ello, la tasa de transferencia se reduce en la medida en que las transmisiones colisionen con las transmisiones de las señales interferentes. Podemos observar lo explicado en la Figura 6.15 y concluir que si queremos colocar dos tarjetas CM9 sobre la misma placa debemos colocarlas en canales ortogonales. Mientras que cuando ambas redes operan en el mismo canal se obtiene una caída de throughput del 17 %, para el canal 153 la caída es inferior al 3 % y no llega al 1 % en los canales 157 y 161 por lo que una posible configuración podría ser, Emisor→Repetidor en el canal 149 y Repetidor→Receptor en el canal 157 o 161 minimizando así el efecto de las interferencias.

Si ahora observamos lo que ocurre en el escenario con 4 nodos (Figura 6.16) teniendo en

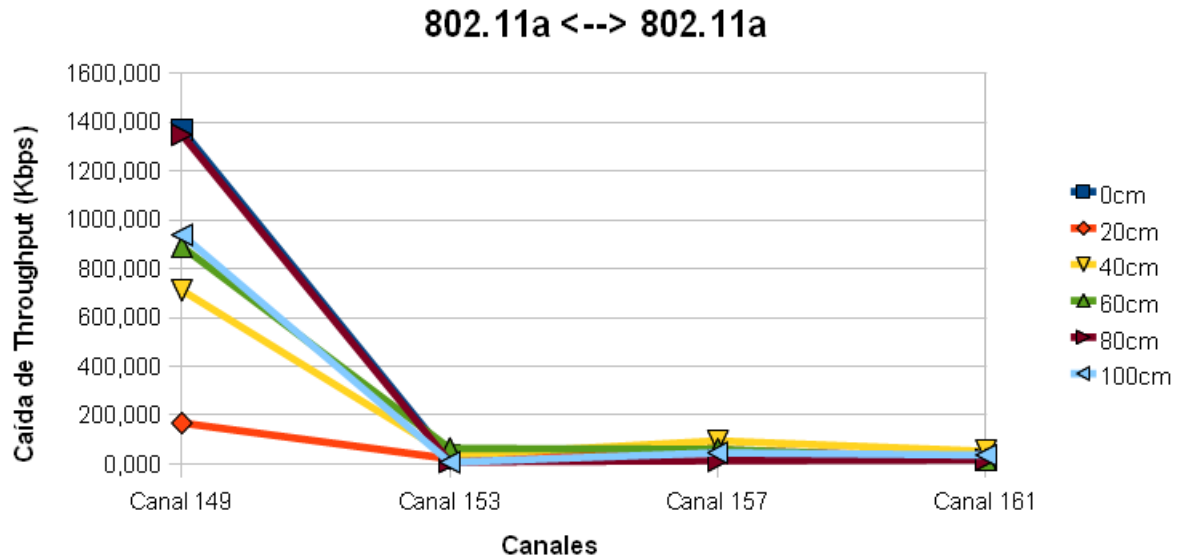


Figura 6.16: Variación de la caída de Throughput, en el escenario con 4 nodos y tarjetas CM9, en función de los canales en 802.11a.

cuenta cada una de las distancias horizontales de separación entre las placas, vemos que el comportamiento es idéntico al caso del escenario con 3 nodos. Vemos cómo tener presente otras señales en la misma frecuencia provoca ruido. Si éste aumenta drásticamente puede incluso estar por encima de la sensibilidad de la tarjeta inalámbrica utilizada y reducir el margen dinámico de forma que sea imposible decodificar la señal.

Se observa que estando ambas redes en el mismo canal, para una distancia de 20 y 40 cm obtenemos una caída de throughput inferior a la que tenemos con una separación de 100 cm. Esto puede deberse a que en ese momento los procesadores de las placas se encontrasen más ocupados ya que como podemos ver en el resto de canales, la caída de throughput para 100 cm es inferior.

Mientras que cuando ambas redes operan en el mismo canal la caída de throughput corresponde en media al 20 % del caudal efectivo, para el resto de canales analizados se trata del 1 % aproximadamente. Con ello se deduce que podríamos colocar una de las interfaces radio de la placa en el canal 149 y otra en el 153 o sucesivos y la caída de throughput sería insignificante.

6.5.1.1.2. Modo 802.11g

Analizando los resultados de las mediciones realizadas para el modo 802.11g de WiFi, vemos en la Figura 6.17 que para el escenario con 3 nodos, a medida que nos vamos separando de canal (ya que la red Emisor→Repetidor se encuentra en el canal 1 y la de Repetidor→Receptor recorre los canales del 1 al 7) la caída de throughput es cada vez menor, comenzando por una caída de más del 17 % del caudal efectivo cuando ambas redes operan en el mismo canal y terminando en el 1 % cuando la red Repetidor→Receptor se encuentra en el canal 5, e incluso en menos del 1 % para los canales 6 y 7. Por ello, observamos que podríamos colocar ambas redes con una

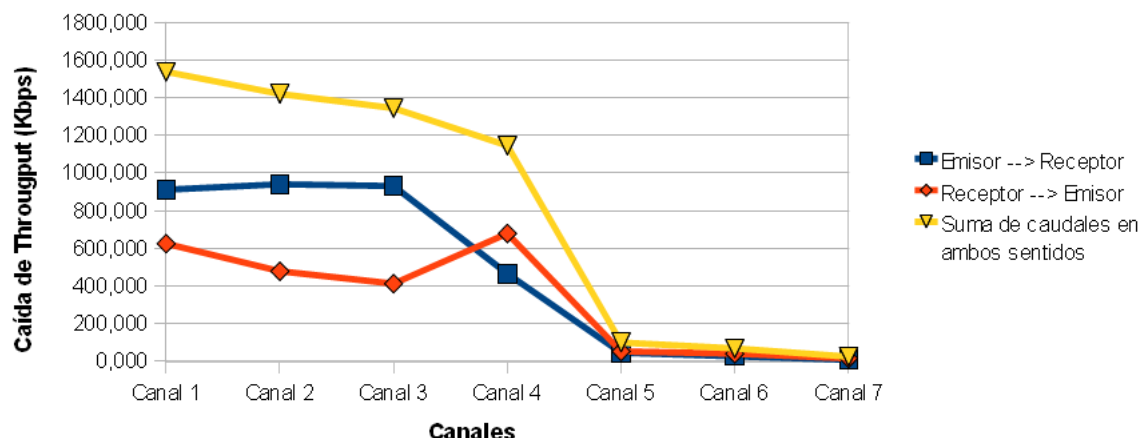


Figura 6.17: Variación de la caída de Throughput, en el escenario con 3 nodos y tarjetas CM9, en función de los canales en 802.11g.

separación de 4 canales para que no nos afectasen las interferencias que estamos estudiando.

Para el escenario con 4 nodos, observando la Figura 6.18 vemos que para una distancia de separación horizontal de 40 y 100 cm obtenemos una caída de throughput menor, en los canales del 1 al 4, que para el resto de distancias. Este hecho es poco explicable y puede deberse a condiciones puntuales del entorno. Lo que si podemos apreciar correctamente es la tendencia, en todas las distancias, a reducir la caída de throughput a medida que alejamos, en canales, ambas redes. Con una diferencia de cuatro canales pasamos de una caída del 20 % al 1 % del caudal efectivo.

6.5.1.1.3. Ambos modos

Cuando estamos en el escenario con 3 nodos y la red Emisor→Repetidor se encuentra en el canal 149 y la red Repetidor→Receptor hace un barrido desde el canal 1 hasta el 7 de 802.11g la caída de throughput es inferior al 1 % del caudal efectivo por lo que la interferencia mutua no afecta cuando operamos en bandas diferentes.

En el caso del escenario con 4 nodos debemos concluir lo mismo que dijimos para el escenario con 3 nodos, no existe interferencia mutua entre las dos radios operando en bandas distintas. Para todas las distancias, estamos hablando de una caída media de throughput inferior a 100 Kbps lo que supone aproximadamente un 2 % del caudal efectivo.

6.5.1.1.2. Tarjetas SR2

Las tarjetas SR2 sólo operan en el modo 802.11g. Analicemos los resultados obtenidos para este tipo de tarjeta.

6.5.1.1.2.1. Modo 802.11g

Observando la Figura 6.19 vemos que en el escenario con 3 nodos, debemos colocar ambas redes con una separación de, por lo menos, 4 canales ya que para canales solapados la caída de

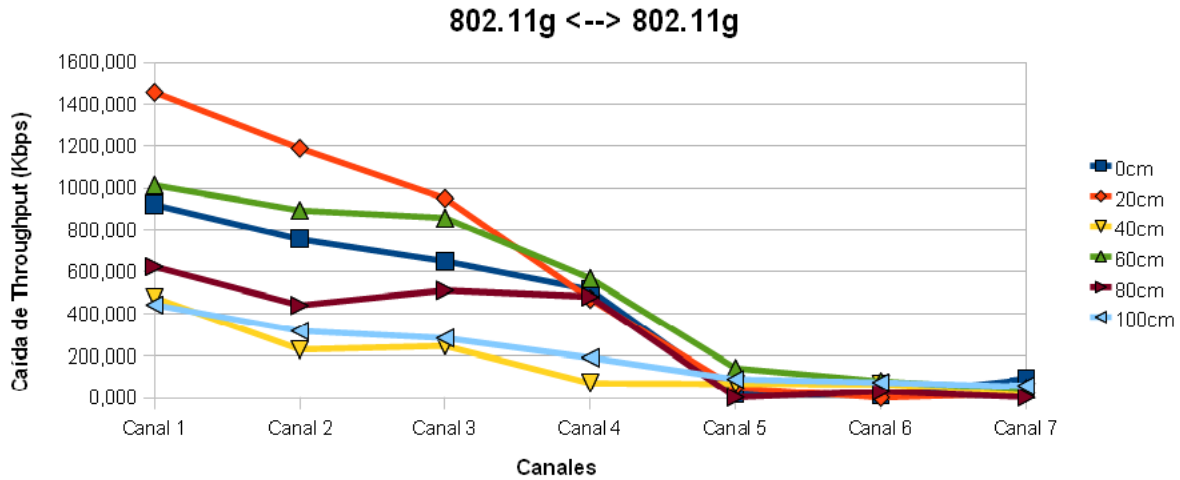


Figura 6.18: Variación de la caída de Throughput, en el escenario con 4 nodos y tarjetas CM9, en función de los canales en 802.11g.

throughput es superior a 1.5 Mbps (alrededor del 30 % del caudal efectivo). En este caso, si la red Emisor→Repetidor se encuentra en el canal 1 y la red Repetidor→Receptor en el canal 6, obtendremos una caída total de throughput de 177 Kbps mientras que si colocamos la segunda red en el canal 7, obtendremos una caída total de 149,4 Kbps.

Para el escenario con 4 nodos y tarjetas SR2, tal y como podemos apreciar en la Figura 6.20 vemos que a partir del canal 3, la caída media de throughput es inferior a 60 Kbps para cualquier distancia por lo que bastaría colocar ambas redes con una diferencia de dos canales para no encontrar interferencias significativas (estando la red Emisor→Repetidor1 en el canal 1 y la red Repetidor2→Receptor en el canal 2, la caída corresponde a una media del 10 % del caudal efectivo). El repunte que vemos en el canal 7 se debió a la presencia de una fuente interferente operando en dicho canal durante el experimento.

Comparando los resultados expuestos de ambas tarjetas operando en 802.11g, concluimos que si se colocan dos radios CM9 o SR2 sobre una misma placa, será necesario una separación de 4 canales para que no haya interferencia mutua (Figuras 6.17 y 6.19). En el caso del escenario con 4 nodos y tarjetas CM9, la diferencia de canales ha de ser de 4 para que no afecten las interferencias. Por el contrario, con tarjetas SR2 la diferencia es de tan sólo 2 canales para todas las distancias consideradas.

6.6. Valoración técnica y económica de las necesidades de mantenimiento y administración de la red tras su instalación

Una red sólo estará disponible y se entenderá como un proyecto con tecnología apropiada si se dispone de un correcto plan de mantenimiento que determine políticas de actuación frente a fallos, asigne responsabilidades (tareas) y frecuencia de revisión, reparación y reposición de elementos de la red tanto por parte de los usuarios finales como por los técnicos, disponga los elementos para sustitución necesarios, la acumulación de capitales imprescindible para prever

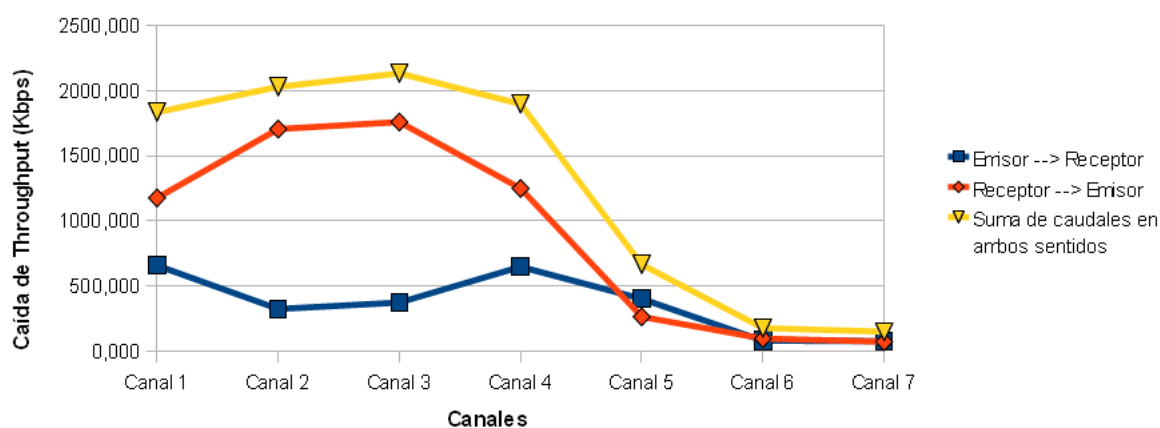


Figura 6.19: Variación de la caída de Throughput, en el escenario con 3 nodos y tarjetas SR2, en función de los canales en 802.11g.

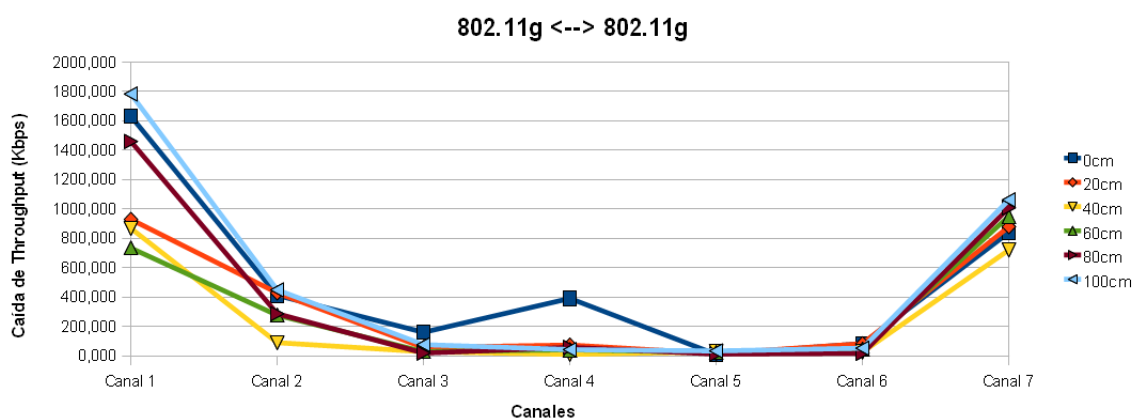


Figura 6.20: Variación de la caída de Throughput, en el escenario con 4 nodos y tarjetas SR2, en función de los canales en 802.11g.

los tiempos de vida de cada componente, ... Todo ello obliga a una protocolización y control adecuados.

Se hace necesario llevar a cabo distintas tareas de mantenimiento para mantener la red funcionando durante el mayor tiempo posible.

En este apartado debemos precisar los procedimientos a seguir en el cumplimiento de las actividades necesarias para efectuar el mantenimiento de la red desde el punto de vista de infraestructura de las redes EHAS instaladas [Pac06].

6.6.1. ¿Por qué es difícil el mantenimiento en zonas rurales?

Existen varias razones por las que el mantenimiento resulta complicado en zonas rurales [Sea08]. En primer lugar, los locales no tienen los conocimientos necesarios sobre redes inalámbricas para poder desarrollar su trabajo. Esto conlleva a capacidades de diagnóstico limitadas, uso incorrecto de los equipos y fallos de configuración. Por tanto, se deben crear algunas herramientas que ayuden a aumentar este conocimiento y la capacitación ha de formar parte de este proceso.

En segundo lugar, debido a la falta de suministro eléctrico en algunas zonas rurales, las caídas de los equipos se producirán de manera más repetida que en el caso de tener un flujo continuo de energía.

La tercera razón es que muchos establecimientos con nodos wireless se encuentran muy distantes entre sí por lo que los desplazamientos para reparaciones y mantenimiento se hacen más difíciles.

Finalmente, el acceso remoto a las redes puede no ser posible debido a la caída de algún enlace en la red por lo que los expertos pueden tener importantes dificultades para resolver las incidencias o incluso, diagnosticar los problemas.

6.6.2. Requisitos

Con el fin de asegurar el mantenimiento de los sistemas EHAS instalados surgen una serie de necesidades al respecto:

1. Establecer o reafirmar acuerdos con las Municipalidades para que estas instituciones brinden apoyo económico y/o logístico a las labores de mantenimiento (especialmente en el tema de seguridad) y para las nuevas instalaciones que se puedan programar.
2. Efectuar una descentralización parcial de las labores de mantenimiento.
3. La asesoría técnica al personal del Ministerio de Salud (MINSA) deberá ser asumida por la contraparte tecnológica del país beneficiario ya que la transferencia tecnológica no es a corto plazo.
4. Se ha de determinar cuál es la dependencia MINSA directamente encargada de supervisar y gestionar la correcta operación y mantenimiento de la red de comunicaciones EHAS.
5. La realimentación es indispensable para la mejora de los procesos y su adecuación al comportamiento real de la red instalada.

La información relativa a la operatividad y al mantenimiento de la red debe seguir un canal administrativo desde los puestos de salud hacia su correspondiente centro de salud y desde estos centros hacia la Unidad de Estadística de la red que se encargará de coordinar e informar a la Dirección de Salud (DISA) del estado de la red y las actividades principales. En cuanto a estas temáticas podemos distinguir entre:

- Operación de la Red: Referido a los procedimientos, actividades y documentos necesarios para garantizar una adecuada operación de los diversos componentes de los sistemas EHAS que tienen interacción directa con los usuarios.
- Mantenimiento Preventivo de la Red: Define los procedimientos necesarios para prevenir la aparición de problemas. Ha de apoyarse en algún manual difundido entre el personal de salud comprometido con el mantenimiento.
- Mantenimiento Correctivo de la Red: Define los procedimientos necesarios para solucionar fallos una vez que se han producido. También existirá un manual detallado con posibles problemas y sus soluciones.

El correcto funcionamiento de los equipos que conforman la red es fundamental para asegurar su conservación en el tiempo y el máximo aprovechamiento de éstos por parte de los usuarios que tienen acceso a ellos. Por ello, quincenalmente, se puede llevar a cabo un seguimiento de:

- Información técnica: Recogida directamente mediante conexiones remotas a los servidores y repetidores.
- Percepción de los usuarios: Recogida mediante encuestas directas a los usuarios de los sistemas (Apéndice D.1).
- Evaluación de estado y actividades: Se registra una evaluación del estado de la red y de las actividades previstas en caso de presentarse problemas (Apéndice D.2).

6.6.3. Mantenimiento

La elaboración e implementación formal de un plan para la gestión del mantenimiento de las redes instaladas se considera un requisito fundamental para asegurar la máxima disponibilidad de las mismas y, por lo tanto, su sostenibilidad. La experiencia de EHAS indica que no basta con disponer del recurso humano capacitado y el financiamiento suficiente, sino que es necesario asimilar dentro de la organización o comunidad los procesos y actividades referidas al mantenimiento. Los integrantes de la organización beneficiaria y los usuarios deben conocer con claridad las condiciones, plazos, recursos y vías de comunicación establecidas para cada actividad de mantenimiento, así como estar convencidos de la necesidad de las mismas ya que la institución beneficiaria tiene la responsabilidad a futuro de mantener operativa la red implementada.

6.6.3.1. Mantenimiento preventivo

Para el mantenimiento preventivo de la red, la institución beneficiaria asume el compromiso de planificar y gestionar las actividades que sean necesarias.

Las actividades comprendidas en este tipo de mantenimiento serán definidas anualmente en el Plan Operativo. El desatender estas tareas originaría una disminución en la vida útil de los componentes de la red y la aparición de frecuentes fallos que podrían desembocar en problemas de mayor gravedad. Por ello, se estima que, para una adecuada atención de los sistemas instalados, es necesario efectuar visitas a todos los emplazamientos y a los repetidores de forma periódica, considerando los tiempos de vida de cada uno de los componentes de los sistemas EHAS con el fin de prever posibles reemplazos en el momento adecuado.

La Unidad de Estadística e Informática de la Dirección de Salud de la red debe registrar todas las actuaciones de mantenimiento preventivo que sean realizadas. Un posible formulario de recogida de estas tareas puede ser el que se muestra en el Apéndice D.3. Este documento debe ser cumplimentado en cada una de las visitas de mantenimiento siguiendo una codificación correlativa para poder identificar las acciones de una manera rápida y sencilla. Además, sería conveniente que esta información se almacenara digitalmente para la elaboración de estadísticas históricas y que semestralmente se enviara un resumen de todas las actividades realizadas a:

- Dirección de Cooperación Internacional de la DISA.
- Contraparte tecnológica del país beneficiario.
- Fundación EHAS España.
- Asociación Madrileña de Ingeniería sin Fronteras.

6.6.3.1.1. Mantenimiento realizado por los usuarios finales

Es necesario tener en cuenta que los usuarios finales deben manejar los equipos considerándolos “cajas negras” y no se les debe permitir (generalmente) la manipulación de los mismos. Las principales recomendaciones que deben ser efectuadas en este aspecto son que el ambiente donde se han instalado los equipos debe permanecer en adecuadas condiciones, libre de posibles daños por efectos ambientales o manipulación indebida y que la limpieza exterior de los equipos debe ser frecuente.

Además, en cuanto a los programas y sistemas operativos instalados en los equipos, se ha de tener en cuenta que:

- Si el usuario no posee suficiente experiencia en la utilización de programas informáticos, tiene la obligación de solicitar capacitación o asesoría a su respectiva jefatura.
- La instalación o desinstalación de programas informáticos no debe ser asumida por los usuarios finales, excepto en los casos en que el área encargada del soporte lo estimara necesario.
- Los usuarios con acceso a Internet deben ser informados de los riesgos existentes de posibles ataques a la seguridad si no tienen mecanismos de protección adecuados.
- Los usuarios finales que requieran instalar programas multimedia u otros, deben realizar una consulta al área de soporte para comprobar si las prestaciones del ordenador no se verán afectadas con la nueva instalación.

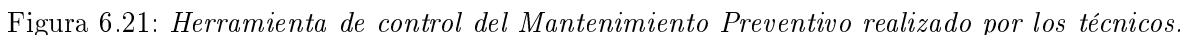
Actividades de mantenimiento preventivo	Periodicidad	Tarea específica
Verificación del estado del regulador	3 veces al día	Observación de luces indicadoras del regulador
Mantenimiento de baterías	Semanal	Revisión del nivel de agua en las baterías y corrección en caso necesario
Mantenimiento de pozos de puesta a tierra	Mensual	Vertido de agua a pozos PAT
Mantenimiento de paneles solares	Bimestral	Verificación y/o limpieza de paneles.
Mantenimiento de vientos y ferretería de torre	Bimestral	Limpieza de maleza, engrase de ferretería y verificación de tensión en vientos
Obtención de copias de seguridad	Mensual	Almacenar la información
Otras tareas	Semanal	Limpieza de equipos y ambiente de trabajo
Configuración y ejecución de tareas programadas	Automáticamente	Definición de tareas que el ordenador realiza periódicamente de forma automática (antivirus, liberador de espacio en disco, ...)

Tabla 6.4: *Actividades de Mantenimiento Preventivo de usuarios finales.*

La Unidad de Estadística debe definir qué tareas pueden realizar los usuarios para que sus intervenciones sean eficaces. En la Tabla 6.4 se detallan algunas actividades de mantenimiento preventivo propias de los usuarios finales, cada cuanto deben realizarlas y la tarea específica a realizar. La responsabilidad de que se efectúen las actividades definidas para los usuarios es de los jefes de los establecimientos de salud.

6.6.3.1.2. Mantenimiento realizado por los técnicos

A parte de las visitas anuales obligatorias por parte de los técnicos a todos los puestos de salud, las actividades de mantenimiento preventivo pueden llevarse a cabo durante otras que correspondan a la atención de averías (mantenimiento correctivo). De esta forma, esas actividades, que estarían planificadas en el Plan Operativo con su fecha de realización y la tarea, sería eliminada por haberse realizado en ese momento sin necesidad de volver a realizarla en la fecha que estuviese planificado anteriormente a este suceso. Algunas de las actividades propias de los



Para llevar un control de las tareas realizadas y las que faltan por llevar a cabo se podría utilizar la herramienta mostrada en la Figura 6.21. En ella podemos ver la periodicidad a la que debemos realizar cada una de las tareas incluidas en este tipo de mantenimiento. Cada celda tiene la capacidad de generar una alarma de distinto color dependiendo de si la tareas se ha realizado a tiempo o no. Por ello, se generará una alarma de color naranja cuando el mantenimiento se deba realizar y una de color rojo cuando el tiempo de realización haya pasado. Si el mantenimiento se ha realizado a tiempo, se señalará con una “v” y se generará una alarma de color verde.

En cuanto al subsistema de energía, el mantenimiento se centra en el cuidado y vigilancia del estado de tres elementos: las baterías, el regulador y los paneles solares. Mantener las baterías en buen estado es fundamental para prolongar su vida útil y para el correcto funcionamiento del sistema. Por ello se revisarán posibles rajaduras, deformaciones, daños en los cables conectados, nivel de agua para su refrigeración, ... Hay que tener en cuenta que el tiempo de vida medio de una batería es de 5 años por lo que transcurrido este tiempo habrá que proceder a su reemplazo. En cuanto a los paneles solares, éstos no requieren un mantenimiento frecuente pero la revisión del regulador para instalaciones fotovoltaicas puede ayudar a evitar problemas mayores.

Para el mantenimiento del subsistema de protección eléctrica, y concretamente para la puesta a tierra habrá que asegurarse de que la conexión de los cables que llegan a la barra máster es firme. Además se debe verificar el estado del tendido del cable del pararrayos y el adecuado templado de los cables de acero que constituyen los vientos de las torres además de revisar las bases de concreto y el soporte de los paneles.

La institución beneficiaria de la red EHAS instalada también asumirá el compromiso de planificar y gestionar las actividades necesarias para realizar el mantenimiento correctivo.

La atención y solución de averías es el principal proceso dentro del mantenimiento correctivo, disponiéndose de herramientas, provistas por la misma red de comunicaciones, para la detección

Actividades de mantenimiento preventivo	Periodicidad	Tarea específica
Mantenimiento de voltajes y continuidad	Semestral	Medición de voltaje del regulador y del voltaje de salida del inversor
Mantenimiento de caja de	Semestral	Verificación y aseguramiento de conexiones bornera y/o baterías y limpieza de caja de distribución
Mantenimiento de sistema informático	Semestral	Revisión de la configuración del ordenador
Capacitación	Semestral	Refuerzo a la capacitación de usuarios
Mantenimiento de vientos y ferretería de torre	Semestral	Verificación y corrección de estado de vientos y ferretería
Mantenimiento del Sistema Informático	Anual	Revisión de la configuración del ordenador y elaboración de copia de seguridad de información local
Mantenimiento del Sistema Radiante	Bienal	Medición de potencias en antena y limpieza de antenas y revisión de conectores
Revisión del sistema de puesta a tierra	Bienal	Medición de resistencia pozos PAT
Reemplazo programado de baterías	Quinquenal	Desmontaje baterías existentes e instalación de unas nuevas
Mantenimiento del sistema de puesta a tierra	Quinquenal	Reactivación de pozos PAT
Reemplazo del Sistema Radiante	Quinquenal	Reemplazo programado de cable coaxial y de antena

Tabla 6.5: *Actividades de Mantenimiento Preventivo de técnicos.*

de los tipos de fallos más críticos:

1. Reporte y Detección de averías.

Los fallos críticos (que implican corte de alguno de los servicios) pueden ser detectados desde la sede de la red, mientras que los fallos menores deben ser reportados por el personal encargado de cada establecimiento. Por este motivo se establece una diferenciación según la instancia que reconoce el problema y lo notifica.

Para el caso de los usuarios, se seguirá el siguiente procedimiento:

- El usuario debe realizar las verificaciones que su grado de conocimiento le permitan realizar; en caso de no solucionar el problema, debe informar inmediatamente a la Red por vía telefónica. Si no existe un servicio operativo, la comunicación se realizará mediante medios alternativos como teléfono VSAT, radio HF de la comunidad u otros. De no existir otros medios, se realizará de forma personal o mediante un miembro de la comunidad que pueda desplazarse al CS.
- Al recibir la comunicación, el responsable en la red debe brindar asesoría al operador para analizar el problema, identificar el tipo de fallo y solucionarlo siempre que sea posible.
- Si el fallo no se resuelve mediante asesoría remota, se debe recoger la información relativa a la incidencia. Un posible formulario para almacenar esta información se presenta en el Apéndice D.4. Además, el Jefe del Centro de Salud afectado debe ser notificado de la avería y de la fecha probable de su atención.
- A partir de la información enviada, la Jefatura de la Unidad de Estadística e Informática de la Dirección de Salud asignará un código correlativo al documento y coordinará las actuaciones necesarias con las instancias implicadas para programar la atención de la avería de acuerdo a la ubicación del PS y a la carga de trabajo existente.

2. Atención de averías.

Una vez efectuada la programación de la visita, el personal técnico asignado a la atención de averías se desplazará al lugar en la fecha programada. Podrán llevar hasta allí algún equipo o componente, siempre y cuando se haya verificado sin ninguna duda que es lo único averiado en el sistema EHAS.

En los casos en que la presencia de un técnico sea necesaria, habrá que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- El técnico especialista debe llevar sus herramientas completas y algunos equipos de repuesto, en el caso de que se considere necesario. Una vez allí y atendida la avería, el técnico debe efectuar una supervisión sobre el funcionamiento del sistema. Además debe realizar las actividades de mantenimiento preventivo habituales utilizando, para su registro, los documentos antes mencionados.
- En todo momento el responsable desplazado puede solicitar soporte técnico a los miembros del programa EHAS, quienes le asesorarán remotamente a través de cualquiera de los medios disponibles.

- Para registrar las actuaciones de mantenimiento correctivo en los establecimientos de salud se podría utilizar un formulario como el que aparece en el Apéndice D.5. Este documento se rellenará por duplicado ya que una de las copias es para el encargado del establecimiento de tal forma que existirá también un registro de actuación en el propio puesto de salud.

Uno de los parámetros más importantes del mantenimiento correctivo es el tiempo de respuesta ante fallos por lo que se requiere simplificar, en la medida de lo posible, el procedimiento de atención de averías. Esto se puede conseguir gracias a un stock de repuestos que permitirá una rápida reposición de los equipos con problemas. Los componentes del stock se elegirán de acuerdo a la importancia relativa de los mismos y a su posibilidad de ser afectados ante imprevistos.

6.6.3.2.1. Valoración económica del stock inicial

En [Álv09] se presenta un manual sobre el funcionamiento de una hoja de cálculo para automatizar el cálculo de stocks y personal de mantenimiento de una red inalámbrica WiFi aislada. Se detallan los pasos para la utilización de la hoja de cálculo, los campos que se deben rellenar y las decisiones que el diseñador puede tomar una vez que la hoja presenta los resultados teóricos.

Los conceptos que se tienen en cuenta son:

- MTBF (Mean Time Between Failures): Tiempo medio entre fallos que se obtendrá como dato tras analizar el historial del tiempo entre fallos presente en los formularios y en el resto de documentación que se tenga al respecto.
- MTTR (Mean Time To Repair): Tiempo medio de reparación obtenido a partir del historial de reparaciones donde se especificará el tiempo que necesitó cada una de las actividades realizadas.
- Disponibilidad: Resulta de una relación entre el MTBF y MTTR y se desea que sea máxima (cercana al 100 %).

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (6.14)$$

- Tiempo en horas: Tiempo medio de reposición de un elemento del sistema. Este dato deberá aparecer ya en la plantilla y dependerá de la ubicación del almacén donde se encuentre el elemento del sistema.
- Planta en servicio: Número de elementos que se encuentran presentes en el sistema (deberá ser un dato presente en la plantilla por defecto).
- PB: Probabilidad de desabastecimiento asignada a cada almacén y que resulta ser la probabilidad de bloqueo.

$$PB = \frac{1}{MTBF} \cdot \text{Tiempo en horas} \cdot \text{Planta en servicio} \quad (6.15)$$

CSPWi														
Cantidad por Estación														
ITEM	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	En	CANT	DESCRIPCION	UNITARIO	TOTAL COSTO E
Telecomunicaciones														
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Antena 1	60,00	0,00
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	Antena Sectorial	150,00	3000,00
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	Antena Omnidireccional	100,00	2000,00
4											0			0,00
5											0			0,00
6											0			0,00
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Radio	300,00	3000,00
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Repetidora	150,00	1500,00
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Tarjeta inalámbrica	50,00	500,00
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Router	200,00	2000,00
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Compac Flash	50,00	500,00
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Pigtail	10,00	100,00
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Caja intemperie	50,00	500,00
14	10	15	10	25	30	10	10	15	15	15	155	Cable coaxial Heliac (m)	3,00	465,00
15	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	Conector cable Heliac	15,00	300,00
16	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50	Cable UTP (m)	12,00	600,00
17	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	Conectores RJ-45	2,00	40,00
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Cable Ethernet cruzado	15,00	150,00

Figura 6.22: Cálculo del número de elementos necesarios en la red.

CSPWi


DECISIÓN			DATO			DATO		DATO		DATO			
ITEM	CANTIDAD TEORICA	CANTIDAD EN STOCK	DESCRIPCION	THS	PLS	DISPO	MTTR	MTBF	ERLANG	PB	UNITARIO	TOTAL COSTO TEORICO	TOTAL COSTO E
Energía													
26	1	1	Panel solar	48,00	20,00	100,00%		5000,00	0,19	5,00	300,00	300,00	300,00
27	1	1	Batería	48,00	10,00	100,00%		3000,00	0,16	10,00	100,00	100,00	100,00
28	1	1	Inversor	48,00	10,00	100,00%		3000,00	0,16	5,00	30,00	30,00	30,00
29	1	1	Protección de línea	48,00	10,00	100,00%		3500,00	0,14	10,00	10,00	10,00	10,00
30	5	5	Cable de energía solar (m)	48,00	185,00	100,00%		4000,00	2,22	5,00	10,00	50,00	50,00
31	1	0	Cable de energía batería (m)	48,00	165,00	100,00%		20000,00	0,40	10,00	10,00	10,00	0,00
32	0	1	Pararrayos	48,00	10,00	100,00%		100000,00	0,00	5,00	50,00	0,00	50,00
Costo de Bodega												3922,00	3998,00

Figura 6.23: Cálculo y decisión del número de elementos en stock.

En primer lugar se debe realizar un cálculo del número de repuestos necesarios en cada establecimiento de salud y consecuentemente en toda la red. Para ello se podrá utilizar la hoja de cálculo mostrada en la Figura 6.22. Con ella conseguimos calcular el stock y obtenemos el coste total de todo este equipamiento con posibilidad de ser almacenado.

Tras este cálculo, el diseñador podrá tomar la decisión de cuántos comprar de acuerdo a su experiencia y criterio utilizando la hoja de cálculo mostrada en la Figura 6.23. En ella hay un campo en el que se calcula automáticamente cuánto le costaría comprar los repuestos que se calcularon y cuánto le costarían los repuestos que él requiere, con lo que puede realizar una comparación económica de una u otra opción.

Una vez definido el número de elementos a tener en stock el diseñador podrá controlar cuántos elementos ha decidido tener almacenados y si el stock es menor al 50 % del valor original se generará una alarma de color rojo (Figura 6.24). De esta manera se podrá tener la previsión de realizar la compra de repuestos y completar el stock.



ITEM	CANTIDAD EN STOCK	DESCRIPCION	CANTIDAD UTILIZADA	STOCK	ALERTA
1	0			0	
2	5	Antena Sectorial		5	
3	5	Antena Omnidireccional	2	3	
4	0			0	
5	0			0	
6	0			0	
7	5	Radio	4	1	
8	2	Repetidora		2	
9	1	Tarjeta inalámbrica		1	
10	1	Router		1	
11	0	Compac Flash		0	
12	0	Pigtail		0	
13	1	Caja intemperie		1	
14	11	Cable coaxial Heliac (m)		11	
15	0	Conector cable Heliac		0	
16	0	Cable UTP (m)		0	
17	0	Conectores RJ-45		0	
18	5	Cable Ethernet cruzado		5	

Figura 6.24: *Gestión del stock.*

6.7. Sistema de gestión de incidencias

El marco de gestión OSI (CCITT, X.701) define 5 áreas funcionales en las cuales se divide la gestión de red:

1. Gestión de fallos: Establece la generación de notificaciones específicas de error (alarmas), el registro de las notificaciones de error y la verificación de los recursos de red para trazar e identificar fallos.
2. Gestión de configuración: Se distribuye en actividades de inicialización, instalación, y abastecimiento. Esto permite la colección de información de configuración y estado en demanda, proporcionando facilidades de inventario y además soporta el anuncio de cambios de configuración a través de notificaciones relevantes.
3. Gestión de contabilidad: Consiste en actividades de recolección de información de contabilidad y su procesamiento para propósitos de cobros y facturación. Estas actividades establecen un límite contable para que un conjunto de costes se combinen con recursos múltiples y se utilicen en un contexto de servicio.
4. Gestión de desempeño: Proporciona información ordenada para determinar la carga del sistema y de la red bajo condiciones naturales y artificiales, proporcionando estadísticas y permitiendo actividades de planificación de configuración.
5. Gestión de seguridad: Está relacionada con 2 aspectos de la seguridad del sistema. En primer lugar afecta a la gestión de seguridad misma que requiere la habilidad para supervisar y controlar la disponibilidad de facilidades de seguridad, reportar amenazas y rupturas en

la seguridad y, en segundo lugar, la seguridad de la gestión que necesita la habilidad para autenticar usuarios y aplicaciones de gestión, con el fin de garantizar la confidencialidad e integridad de intercambios de operaciones de gestión y prevenir accesos no autorizados a la información.

En cuanto a la gestión de fallos creemos que un sistema de gestión de incidencias (SGI) puede facilitar en gran medida la resolución de todos los fallos de la red. Es un paquete de software que administra y mantiene listas de incidencias detectadas por usuarios finales e intermedios de un sistema o red. Una incidencia refleja un problema que está influyendo negativamente o imposibilitando el funcionamiento de la red y servicios asociados.

Trabaja mediante tickets, que son archivos contenidos en el sistema de seguimiento que tienen información acerca de intervenciones hechas por personal de soporte técnico o terceros a pedido de un usuario final que ha reportado una incidencia. Típicamente el ticket tiene un número único de referencia (ID), también conocido como número de caso, que es usado para permitir al cliente o al personal de soporte localizar, añadir o comunicar el estado de la incidencia.

Algunas de las funciones que puede llevar a cabo un sistema de tickets genérico son:

1. Registrar un evento o ticket.
2. Asignarle al mismo, su propietario o persona responsable.
3. Asignarle un grupo de interés.
4. Rastrear cambios en su estado.
5. Informar a las partes interesadas de los cambios.
6. Lanzar actividades basadas en el estado y/o prioridad del ticket.
7. Presentar un informe sobre el estado de uno o más tickets.
8. Cerrarlo⁹.

Por seguridad, un sistema de seguimiento de incidencias autenticará a sus usuarios antes de permitirles el acceso al sistema. Después de ello, el usuario final del sistema de seguimiento puede crear nuevas incidencias, leer las existentes, añadir detalles a las mismas, resolverlas o reasignarlas a otros usuarios en caso necesario. Cada vez que el usuario efectúa un cambio, el sistema registra la acción y quién la hizo, llevando un histórico de las acciones ejecutadas. Cada usuario puede tener incidencias asignadas, de tal forma que éste es responsable de la resolución de las mismas.

Cada incidencia puede tener un nivel de urgencia asignado, basado en la importancia total de ésta. Las críticas son las más severas y deben ser resueltas con la mayor rapidez posible, teniendo precedencia sobre todas las demás. Las de urgencia baja o cero son menores, y deben ser resueltas en cuanto haya tiempo para ello. Otros detalles incluyen la experiencia del cliente con la incidencia (será interna o externa), fecha de registro, descripciones detalladas del problema experimentado,

⁹No se podrán eliminar tickets ya que se considera vital mantener un histórico de cada incidencia.

intentos de soluciones y otra información relevante. Recordemos que cada incidencia mantiene un historial de cada cambio.

Las principales características de cualquier sistema de gestión de incidencias son:

1. **Accesibilidad:** Los programadores utilizarán la interfaz de línea de comando (CLI: Command Line Interface) mientras que los usuarios accederán a través de la interfaz gráfica de usuario (GUI: Graphical User Interface). Cualquier usuario con un navegador web puede utilizar el sistema de tal forma que no se necesita ningún software propietario. Los usuarios, además del GUI, probablemente necesiten una interfaz de correo electrónico para así recibir las alertas del sistema.
2. **Facilidad de uso:** La introducción de datos, partes implicadas y actualización del estado de una determinada incidencia se realiza de una forma intuitiva.
3. **Multiusuario:** Un número indeterminado de usuarios podrán acceder al sistema para introducir datos y abrir tickets al mismo tiempo. Por otro lado, múltiples administradores podrán modificar scripts o el estado de los flags a la misma vez.
4. **Capacidad de seguir el historial:** Un sistema de gestión de incidencias debe seguir la pista, no sólo del estado actual de un ticket, sino también de su historial completo de modificaciones (tickets cuyo estado pasó de pendiente a resuelto, los receptores de los correos electrónicos y la dirección IP de quien lo creó).
5. **Historial inalterable:** El historial debe estar disponible siempre y no puede ser eliminado por error. Por tanto, no podrá desaparecer el historial tras el cierre de un ticket.
6. **Visualización flexible:** El sistema ofrece la posibilidad de visualizar a la vez un conjunto de tickets como pueden ser, los de mayor prioridad. Además, los usuarios podrán elegir fácilmente visualizar los tickets abiertos a lo largo de una semana, los tickets pertenecientes a un usuario concreto, los tickets con un estado específico o aquellos que llevan abiertos un determinado tiempo.
7. **Control de acceso:** Se puede realizar a través de una lista de control de acceso (ACL: Access Control List). Los niveles de acceso indican quién puede visualizar, modificar y asignar los tickets. Un sistema de gestión de incidencias sin control de acceso está sentenciado al desastre.
8. **Gestión de dependencias:** El sistema necesita una forma de enlazar unos tickets con otros y definir dependencias. De esta forma se previene que se cierren tickets antes de que todas sus dependencias sean satisfechas.
9. **Notificaciones:** Es necesario que cada vez que cambie el estado de un ticket relevante para una parte involucrada, ésta sea informada bien a través de la actualización de la base de datos o vía correo electrónico.
10. **Software que automatiza las etapas de un proceso:** El sistema debe ser personalizable para adaptarlo a necesidades específicas de tal forma que quien lo utilice no tenga que cambiar

ASTRES	Google Code Hosting
Project-Kaiser	Gemini
doTask!	Eventum
GLPI	Liberum Help Desk
OTRS	Request Tracker
Simpleticket	LibreSource
Open Project Manager	QueWeb
itracker	Roundup
SharpForge	Webolize
SpiceWorks Desktop	Issue Tracker Product

Tabla 6.6: *Sistemas de Gestión de Incidencias Open Source.*

su forma de proceder para adaptarse a él. Se puede cambiar el código fuente para ajustarlo a los requerimientos.

Existen numerosos sistemas de gestión de incidencias [Sis]. En la Tabla 6.6 mostramos algunos open source y otros con licencias libres.

Decidimos analizar en mayor detalle el sistema de gestión de incidencias Request Tracker (RT) porque se puede integrar con Nagios. Como actualmente se está trabajando en este sistema de monitorización para la gestión de redes, creemos que es más interesante el estudio en profundidad de sus funciones.

6.7.1. RT: Request Tracker

Como ya se ha comentado anteriormente, RT es un software Open Source por lo que podemos extender y modificar el producto según nuestras necesidades. RT es lo bastante flexible como para ajustar cualquier variación que fuese necesaria sin necesidad de grandes o específicos conocimientos acerca de este sistema [Vea05]. Tiene una gran comunidad de desarrolladores y usuarios y posee una guía muy útil en [wRT].

En el Apéndice E podemos consultar los requisitos de instalación, elementos básicos del sistema, modo de uso y algunas de las funcionalidades de la herramienta; es decir, aportamos un manual ya que puede llegar a formar parte de la metodología del programa EHAS.

Capítulo 7

Conclusiones y Líneas Futuras

7.1. Conclusiones

La realización de este proyecto fin de carrera ha permitido detectar problemas en la metodología del programa EHAS y con ello se han propuesto soluciones a algunas de estas deficiencias.

En primer lugar, se concluye que es necesario hacer un estudio de viabilidad de un proyecto de TIC en países en vías de desarrollo. Para ello, se puede utilizar, entre otra documentación al respecto, el formulario que propusimos donde se aprecian las relaciones entre las categorías de la sostenibilidad y los factores de éxito para determinar si en un proyecto futuro que se fuese a llevar a cabo tenemos una presencia apropiada de cada uno de estos factores. Esto debe hacerse así, tanto para ajustarnos al Marco de trabajo de proyectos TIC en países en vías de desarrollo (Apéndice C) como para proponer las mejores opciones tecnológicas dadas las características específicas de la zona.

A continuación, una vez que hemos analizado todas las especificaciones de la zona de intervención debemos recolectar mediante un GPS las coordenadas geográficas de los establecimientos de salud que conformaran la red de telecomunicaciones. Con esta información, tendremos ubicados en su posición exacta cada uno de los establecimientos de salud de la red por lo que podremos proceder al diseño de la red mediante RadioMobile.

En cuanto al diseño de la red con RadioMobile, debemos seleccionar las variables de entrada correctas del modelo Longley-Rice para evitar errores en esta fase. Además, hemos llevado a cabo un estudio de los porcentajes idóneos para los distintos parámetros estadísticos del modo de variabilidad y se ha concluido que, como a medida que aumentamos dichos porcentajes se aumentan las pérdidas añadidas al enlace, preferiremos utilizar un porcentaje del 95 % de situaciones y tiempo posicionándonos de manera pesimista ya que una vez que la red esté desplegada, los valores reales serán mucho mejores. También, hemos determinado una serie de pasos que se deben realizar para que los mapas SRTM contengan toda la información del terreno de la zona de actuación, además de que obtengamos el margen de recepción de manera no aleatoria a través de la correcta visualización de dichos mapas. Para ello, decíamos que debemos bloquear las unidades a corta distancia, visualizar el mapa a la resolución del tipo de mapa que estemos utilizando y visualizar los enlaces radio a la misma resolución del mapa que utilicemos. Como última aportación al diseño de las redes, proponemos añadir la funcionalidad LandCover al software RadioMobile ya que mejora la exactitud en el cálculo de pérdidas adicionales en los radioenlaces, debidas a entornos urbanos o masas forestales. Indicamos donde se puede obtener este nuevo

paquete cartográfico, cómo y dónde debe incluirse y su funcionamiento.

Con relación a optimizar la red, hemos llevado a cabo un experimento para determinar la distancia horizontal a la que deben colocarse dos radios coubicadas en una misma torre. Las medidas se realizaron con tarjetas de baja y alta potencia (CM9 y SR2) y pretendíamos demostrar que a partir de cierta distancia, la interferencia mutua no afecta de manera significativa por lo que la caída de throughput puede no tenerse en cuenta. Para la generación de tráfico hemos utilizado una nueva herramienta para el programa EHAS, denominada D-ITG (Distributed Internet Traffic Generator), y que proporciona la capacidad de generar tráfico de red en segmentos de red remotos para llevar a cabo un análisis “What If”¹ durante la planificación y gestión de redes. Aunque debería realizarse de manera más rigurosa, dado que como ya dijimos no fue posible disponer durante todo el tiempo que se había planificado para el experimento de una ubicación libre de interferencias, hemos demostrado que si necesitamos utilizar un gran número de canales, las tarjetas SR2 permiten operar con una diferencia de 2 canales sin que se presenten problemas de interferencia mutua para ninguna de las distancias.

Hemos comprobado que también que se hace necesario diseñar un plan de mantenimiento en el que uno de los elementos que lo formarían sería la mejora de la capacitación a los usuarios finales de los sistemas y a los técnicos. En cuanto al mantenimiento en sí, se ha propuesto una herramienta y varios formularios de control (Apéndice D) con el fin de optimizar la operatividad de la red, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo.

Finalmente, siguiendo la metodología descrita, detectamos que la gestión de red era una fase importante a mejorar; ésto está siendo el objeto de otro proyecto. Por otra parte, no existía en absoluto un sistema de gestión de incidencias y aquí proponemos la instalación y uso de Request Tracker (Apéndice E), que podría ayudar en gran medida a la detección y corrección de los fallos de las redes EHAS. Este sistema permitiría a los usuarios generar tickets cada vez que tuviese lugar alguna incidencia, de tal manera que se tendría constancia de ello inmediatamente y las personas encargadas de su resolución podrían empezar a tratarla en cuanto conocen el hecho, dimensionando los recursos necesarios para ello.

7.2. Líneas futuras de investigación

A partir del trabajo realizado se abren nuevas líneas de trabajo para continuar mejorando la metodología revisada más allá de las aportaciones de este trabajo. Entre estas líneas futuras se proponen las siguientes:

1. Investigación y posible inclusión de tecnologías nuevas en la etapa de determinación de la misma para el diseño de redes. El programa EHAS tiene abierta una línea de investigación en cuanto a WiMAX.
2. Realización de un experimento para determinar las interferencias entre antenas en un sistema multi-interfaz. Como ya dijimos en la sección 5.6, EHAS quiere llevar a cabo estas mediciones.

¹El método *What If* es un método generalizado de análisis de riesgos. Normalmente sigue un procedimiento lógico de deducción de fallos, errores, desviaciones en procesos, operaciones, ... que trae como consecuencia la obtención de determinadas soluciones para este tipo de eventos.

3. Realización de forma más rigurosa del experimento explicado en la subsección 4.1.1.2 para determinar la fiabilidad estadística de estos resultados. Se recomienda realizar un total de 6 mediciones para cada una de las frecuencias y distancias en análisis. Además se debería:
 - Realizar mediciones con tarjetas CM9 en emisor y en una de las interfaces de repetidor y tarjetas SR2 en la otra interfaz de repetidor y en receptor (Escenario con 3 nodos) para ver el comportamiento de diferentes radios en un mismo nodo.
 - Llevar a cabo mediciones con tarjetas CM9 en emisor y repetidor 1 y tarjetas SR2 en repetidor 2 y receptor (Escenario con 4 nodos) con el fin de analizar lo mismo que en el caso anterior pero separando las tarjetas cada 20 cm.
 - Ejecutar mediciones teniendo en cuenta una separación mayor a un metro, minimizando la separación entre placas una vez que se acote este valor entre dos distancias. Es decir, si se determina que la separación óptima está entre 120 y 140 cm, se propone hacer mediciones cada 5 cm.
 - Estudiar el efecto que tendría separar las placas verticalmente. Primero, sobre el mismo eje, ir separando verticalmente las placas y si se aprecia que la caída de throughput debido a interferencias con una separación determinada es insignificante se podrá concluir que no será necesaria la separación horizontal en una torre; siempre y cuando con esta separación vertical se asegurase línea de visión con los extremos.
4. Analizar métodos de aprendizaje idóneos para la mejora de la capacitación de los usuarios y técnicos de las redes.
5. Mejorar el sistema de gestión de red.
6. Estudiar la capacidad y la QoS que debe soportar la red planificada a partir de los requisitos de uso de la misma. De esta forma, podremos asegurar las necesidades técnicas concretas en cada establecimiento de salud al considerar la usabilidad.

Apéndice A

Código de los scripts utilizados en el experimento de interferencia mutua entre radios próximas

A.1. Lanzador.sh

```
#!/bin/sh
#Establecemos el PATH para poder ejecutar los comandos sin
#necesidad de introducir toda la ruta de cada comando
PATH=/usr/local/sbin:/usr/local/bin:/usr/sbin:/usr/bin:/sbin:
/bin:/usr/bin/X11:/usr/games
#Creamos una variable que almacenará la donde se guardarán
#los resultados del experimento
RUTA_PRUEBAS="/home/makevuy/interferencias/Pruebas_con_DITG"
#Creamos dos arrays para indicar los modos de operación de WiFi
#y los nombres de cada uno de ellos
modosnombre=("1" "3" "4")
modosdescript=("802.11a" "802.11g" "ambos_modos")

#Recogemos los datos necesarios:
#           - Distancia de separación entre radios
#           - Dirección origen (desde el exterior) de la red troncal
#           - Dirección origen (desde el interior) de la red troncal
#           - Dirección destino de la red troncal
#           - Correo electrónico de la persona que ejecuta las pruebas
#para lanzar las pruebas preguntando al usuario mediante un interfaz dialog
parametros=$(dialog --backtitle "Experimentos de Interferencias entre radios"
--colors --title "Automatización de medidas para red troncal punto a punto"
"Distancia de separación entre radios (cm):" 1 1 "" 2 1 4 3 \
"Dirección origen de la red troncal:" 3 1 "" 4 1 16 15 \
"Dirección origen de la red troncal:" 5 1 "" 6 1 16 15 \
```

```
"Dirección destino de la red troncal:" 7 1 "" 8 1 16 15 \  
"Correo electrónico del/de la usuario/a que ejecuta las mediciones:" 9 1 "" 10 1 40 39))  
  
#Comprobamos que los datos introducidos en el interfaz  
#tienen el formato adecuado  
#La distancia de separación ha de ser un valor numérico. En caso contrario,  
#informamos con un mensaje de error y salimos del interfaz  
case ${parametros[0]} in  
    [0-9]|[0-9][0-9]|[0-9][0-9][0-9])  
        echo "distancia: ${parametros[0]}"  
        ;;  
    *)  
        echo "ERROR! La distancia introducida no tiene el  
            formato numérico requerido"  
        exit 5 #Salimos con error 5.  
        ;;  
esac  
  
#Las direcciones de origen y destino han de tener el formato específico.  
#En caso contrario, informamos con un mensaje de error y salimos del interfaz.  
case ${parametros[1]} in  
    *.*.*)  
        echo "IP origen hacia la red: ${parametros[1]}"  
        ;;  
    *)  
        echo "ERROR! La IP origen hacia la red introducida  
            no tiene formato correcto"  
        exit 5 #Salimos con error 5.  
        ;;  
esac  
case ${parametros[2]} in  
    *.*.*)  
        echo "IP origen dentro de la red: ${parametros[2]}"  
        ;;  
    *)  
        echo "ERROR! La IP origen dentro de la red introducida  
            no tiene formato correcto"  
        exit 5 #Salimos con error 5.  
        ;;  
esac  
case ${parametros[3]} in  
    *.*.*)  
        echo "IP destino: ${parametros[3]}"
```



```
;;
*)
    echo "ERROR! La IP destino introducida no tiene formato correcto"
    exit 5 #Salimos con error 5.
;;
esac

#El correo electrónico tiene que tener un formato igual a *@*.*.
#En caso contrario, informamos con un mensaje de error y salimos del interfaz.
case ${parametros[4]} in
    *@*.*)
        echo "correo electrónico: ${parametros[4]}"
        ;;
    *)
        echo "ERROR! El correo electrónico introducido no tiene
            el formato *@*.* requerido"
        exit 6 #Salimos con error 6.
        ;;
esac

#Mostramos una segunda pantalla (check box) en el interfaz para seleccionar
#los modos que queremos analizar teniendo en cuenta los parámetros
#anteriormente elegidos. Mostramos todos los modos deseleccionados.
indice=0
while [[ $indice -lt ${#modosnombre[@]} ]]; do
    opt="$opt ${modosnombre[$indice]} ${modosdescript[$indice]} off"
    indice=$((expr $indice + 1))
done
modos=( $(dialog --backtitle "Experimentos de Interferencias entre radios"
--title "Automatización de medidas para red troncal punto a punto" --cr-wrap
--stdout --nocancel --separate-output --checklist "Seleccione el modo" 0 0 0 $opt))

#Guardamos en tres variables distintas las direcciones IPs que el
#usuario ha introducido a través del interfaz dialog.
boxip1=${parametros[1]}
boxip1_=${parametros[2]}
boxip2=${parametros[3]}

#Lanzamos las mediciones llamando al script automatización.sh al que
#debemos pasarle la información que ha introducido el usuario a través
#del interfaz dialog.
sh ${RUTA_PRUEBAS}/automatizacion.sh "${parametros[0]}" "${parametros[1]}"
"${parametros[2]}" "${parametros[3]}" "${parametros[4]}" "${modos[@]}" 2>&1 &
```

A.2. Automatizacion.sh

```
#!/bin/sh

# -----#
# Este script está preparado para lanzar una simulación que mida todos los #
# enlaces de una red troncal saturando el canal con un flujo masivo #
# UDP. La configuración para la que está preparado es para un caso como #
# el ejemplo que sigue: #
# #
#                               +-----+ #
#                               | Servidor Logs | #
#                               | (ejecuta las simulaciones) | #
#                               +-----+ #
#                               ^ #
#                               | #
#                               +-----+-----+ #
#                               |         |         |         | #
#                               v         v         v         v #
#                               +-----+ +-----+ +-----+ +-----+ #
#                               |nodo 1|<---->|nodo 2|<---->|nodo 3|<---->|nodo 4| #
#                               +-----+ +-----+ +-----+ +-----+ #
# # #
# En este ejemplo los nodos a medir serían nodo 1, nodo 2, nodo 3 y nodo 4. #
# -----#

#####
## VARIABLES ##
#####

#Establecemos el PATH para poder ejecutar los comandos sin necesidad
#de introducir toda la ruta de cada comando.
PATH=/usr/local/sbin:/usr/local/bin:/usr/sbin:/usr/bin:/sbin:/bin:/usr/bin/X11:/usr/games

#Creamos dos arrays; el primero de ellos contendrá los canales de 802.11a a
#los que vamos a realizar la prueba, mientras que el segundo contendrá los
#canales de 802.11g.
frecuencias=( "149" "153" "157" "161" )
frecuencias2=( "1" "2" "3" "4" "5" "6" "7" )

#Creamos un array con los hostnames de cada placa por la que va a atravesar
#la prueba.
```

```
nombres=( "emisor" "repetidor1" "repetidor2" "receptor" )

#Creamos un array con los modos que se van a usar siendo 1=802.11a 3=802.11g
#4=emisor&repetidor1(802.11a);repetidor2&receptor(802.11g).
modos=( 1 3 4 )

#Creamos dos arrays para indicar los modos de operación de WiFi
#y los nombres de cada uno de ellos.
modosnombre=("1" "3" "4")
modosdescript=("802.11a" "802.11g" "ambos_modos")

#Seleccionamos la IP de acceso a la placa de un extremo (emisor) para que
#la máquina donde se realizan las pruebas (makevuy) pueda acceder a ella
boxip1="192.168.120.131"
#Seleccionamos la IP de la misma placa hacia dentro de la red
boxip1_="192.168.1.1"
#Seleccionamos la IP de la placa del otro extremo de la red troncal
#hacia dentro de la red
boxip2="192.168.2.2"

#Creamos un par de variables que nos servirán de forma auxiliar
CAMINO=
NUM_NODOS=
#La variable CAMINO_ACCESO almacena las direcciones IP de los cuatro
#nodos de la red montada
CAMINO_ACCESO=( "192.168.120.131" "192.168.120.132" "192.168.120.133" "192.168.120.134" )

#Definimos el servidor de logs que será la máquina cuyo nombre es makevuy.
SERV_LOGS="192.168.120.6"

#Definimos la ruta en la que se encuentra el D-ITG instalado en las placas
#donde se lanzará la simulación
RUTA_DITG_PLACAS="/home/D-ITG-2.7.0-Beta"
#Definimos la ruta en la que se encuentra el D-ITG instalado en el servidor
#de logs, donde se lanzan las simulaciones
RUTA_DITG_LANZADOR="/home/makevuy/interferencias/Pruebas_con_DITG/D-ITG-2.7.0-Beta"
#Definimos la ruta en la que se dejarán los logs de la simulación
RUTA_DITG_LOGS="/home/makevuy/interferencias/Pruebas_con_DITG"

LONGITUD_PAQUETES=1472
#La variable PID almacenará el identificador del proceso que ejecuta
#automatizacion.sh
PID=$$
```

CORREO=

```
#####
## FUNCIONES ##
#####
```

```
#+-----+
#| Función que ejecuta todo el proceso recursivo de medidas entre los nodos |#
#| Params:                                                                    |#
#| $1 --> distancia entre las placas (no tiene efecto real, solo sirve      |#
#|      para guardarlo en el resultado de la simulación)                    |#
#| $2 --> IP de un extremo de la red vista desde el nodo que lanza las     |#
#|      pruebas                                                                |#
#| $3 --> IP del mismo extremo de la red que tiene hacia dentro de la red  |#
#| $4 --> IP del otro extremo de la red que tiene hacia dentro de la red  |#
#| $5 --> correo electrónico de la persona que lanza las pruebas          |#
#+-----+
ejecutar()
{
#Comprobamos si existe otra simulación en curso y si es así informamos con
#un mensaje para que el usuario sepa cómo proceder. En caso negativo,
#informamos de que se continuará con la prueba de manera exitosa.
LOCK=$(cat /tmp/interferencias_*)
if test $LOCK != ""; then
    echo "El/La usuario/a $LOCK tiene un experimento en curso. Por favor
    contacte con él/ella antes de tratar de lanzar un nuevo experimento.
    Si está completamente seguro/a de tener su permiso y poder lanzar
    un nuevo experimento, por favor, mate todos los procesos que resulten
    de hacer \"ps aux | grep ITG\" tanto en los nodos del experimento
    como en el servidor de log, elimine el fichero de nombre
    interferencias_PID situado en /tmp y ya puede comenzar."
exit 5
else
    echo "Fichero de lock de experimentos previos no presente. Se puede continuar."
fi

#Creamos un lock por si alguien intenta acceder al experimento que sea
#informado de que existe una simulación en curso.
crear_lock $CORREO $PID

#Trazamos el camino sobre el que vamos a desarrollar las pruebas
trazar_Camino
```

```
#Controlamos si hubo algún error en la obtencion del camino a medir. Si es
#así, trazar_Camino devolverá 5 y por tanto, saldremos de la ejecución
#también con un 5.
if test $? -eq 5; then
exit 5
fi

#Mostramos el camino (direcciones IPs de los nodos) y el número de nodos
#detectados al trazar el camino para comprobar durante la simulación que
#ambas variables han adquirido el valor correcto. En caso contrario, seremos
#capaces de parar la prueba a tiempo de poder lanzar una nueva correctamente.
echo "camino: ${CAMINO[@]}"
echo "num nodos: $NUM_NODOS"

#Llamamos a una serie de funciones para preparar el entorno de simulación.
#En primer lugar remontamos la escritura en la compact flash para poder realizar
#acciones sobre ellas. A continuación, desactivamos el chipset atheros de las
#tarjetas inalámbricas para que los nodos utilicen WiFi estándar y no las
#funciones adicionales de Atheros, configuramos la cola AC_VO con valores de
#WiFi estándar ya que en el driver madwifi no se puede configurar la cola
#AC_BE y lanzamos un ITGSend y un ITGRecv en modo idle en cada uno de los nodos
#del experimento.
remontar_escritura
desactivar_atheros
configurar_colas
dormir

#Configuramos los modos de WiFi recorriendo el array modos que
#definimos anteriormente.
echo "iniciando configuración de los modos de experimentación.
  Modos seleccionados: ${modos[@]} ..."

for mode in ${modos[@]}; do
  case $mode in
    1)
      echo "Modo 1 iniciando..."
      #Preparamos el array de frecuencias para los canales de 802.11a
      frecuencias=( "149" "153" "157" "161" )

      #Llamamos a la función cambiar_modo() para cambiar
      #el modo y el canal en el que se encuentre la prueba.
      #Sirve, fundamentalmente, para la primera vez que
      #entramos en este modo.
```

```

indice=0
cambiar_modos $mode ${frecuencias[0]}

#Recorremos el array frecuencias modificando los canales
#en las tarjetas inalámbricas. Posteriormente, configuramos
#colas MAC ya que cada vez que realizamos un cambio en alguno
#de los parámetros de configuración wireless, éstas se
#desconfiguran. Finalmente, calculamos la matriz de caudal
#llamando a la función recursiva calcular().
while [[ $indice -lt ${#frecuencias[@]} ]]; do
    cambiar_frecuencia ${frecuencias[$indice]}
    configurar_colas
    calcular ${frecuencias[$indice]} "arranca" $1 $2 $3 $4 $5
    indice=$((expr $indice + 1))
done

#Creamos un directorio para almacenar los resultados de la
#distancia y modo 802.11a en análisis para las tarjetas
#inalámbricas CM9. Además, movemos los logs creados en esta
#prueba a la ruta asignada al almacenamiento de los mismos.
mkdir -p ${RUTA_DITG_LOGS}/resultados/CM9-CM9-${1}cm-modo-${mode}
mv ${RUTA_DITG_LOGS}/*.log resultados/CM9-CM9-${1}cm-modo-${mode}
echo "Completado modo 1."

;;
3)

echo "Modo 3 iniciando..."
#Preparamos el array de frecuencias para los canales de 802.11g
frecuencias=( "1" "2" "3" "4" "5" "6" "7" )

#Llamamos a la función cambiar_modos() para cambiar
#el modo y el canal en el que se encuentre la prueba.
#Sirve, fundamentalmente, para la primera vez que
#entramos en este modo.
indice=0
cambiar_modos $mode ${frecuencias[0]}

#Recorremos el array frecuencias modificando los canales
#en las tarjetas inalámbricas. Posteriormente, configuramos las
#colas MAC ya que cada vez que realizamos un cambio en alguno
#de los parámetros de configuración wireless, éstas se
#desconfiguran. Finalmente, calculamos la matriz de caudal
#llamando a la función recursiva calcular().
while [[ $indice -lt ${#frecuencias[@]} ]]; do

```

```
        cambiar_frecuencia ${frecuencias[$indice]}
        configurar_colas
        calcular ${frecuencias[$indice]} "arranca" $1 $2 $3 $4 $5
        indice=$(expr $indice + 1)
done

#Creamos un directorio para almacenar los resultados de la
#distancia y modo 802.11g en análisis para las tarjetas
#inalámbricas CM9. Además, movemos los logs creados en esta
#prueba a la ruta asignada al almacenamiento de los mismos.
mkdir -p ${RUTA_DITG_LOGS}/resultados/CM9-CM9-${1}cm-modo-${mode}
mv ${RUTA_DITG_LOGS}/*.log resultados/CM9-CM9-${1}cm-modo-${mode}
echo "Completado modo 3."

;;
4)
echo "Modo 4 iniciando..."

#Preparamos el array de frecuencias para los canales de 802.11a
#que se utilizará en los nodos emisor y repetidor1 mientras que
#el array frecuencias2 contiene los canales de 802.11g que se
#emplearán en repetidor2 y receptor.
frecuencias=( "149" "153" "157" "161" )
frecuencias2=( "1" "2" "3" "4" "5" "6" "7" )

#Llamamos a la función cambiar_mod() para cambiar
#el modo y el canal en el que se encuentre la prueba.
#Sirve, fundamentalmente, para la primera vez que
#entramos en este modo.
indice=0
cambiar_mod $mode ${frecuencias[0]}

#Recorremos el array frecuencias2 modificando únicamente los
#canales en las tarjetas inalámbricas de repetidor2 y receptor.
#Posteriormente, configuramos las colas MAC ya que cada vez
#que realizamos un cambio en alguno de los parámetros de
#configuración wireless, éstas se desconfiguran. Finalmente,
#calculamos la matriz de caudal llamando a la función
#recursiva calcular().
while [[ $indice -lt ${#frecuencias2[@]} ]]; do
    cambiar_frecuencia ${frecuencias2[$indice]}
    configurar_colas
    calcular ${frecuencias2[$indice]} "arranca" $1 $2 $3 $4 $5
    indice=$(expr $indice + 1)
```

```

done

#Creamos un directorio para almacenar los resultados de la
#distancia y modo 4 en análisis para las tarjetas inalámbricas
#CM9. Además, movemos los logs creados en esta prueba a la
#ruta asignada al almacenamiento de los mismos.
mkdir -p ${RUTA_DITG_LOGS}/resultados/CM9-CM9-${1}cm-modo-${mode}
mv ${RUTA_DITG_LOGS}/*.log resultados/CM9-CM9-${1}cm-modo-${mode}
echo "Completado modo 4."

;;
esac
done
return
}

#+-----+
#| Función que traza el camino de la red troncal de la que queremos anali- |#
#| zar su caudal. Para ello se conecta a un extremo y ejecuta traceroute al |#
#| otro extremo. |#
#+-----+
trazar_Camino()
{
#Nos conectamos a la placa de un extremo, que definimos anteriormente
#como variable, trazamos la ruta al otro extremo y lo almacenamos
#en un fichero ruta.txt.
ssh root@"$boxip1" "cd /tmp ; traceroute $boxip2 | cut -d \" \" -f 4 > ruta.txt"

#Copiamos el fichero a la máquina desde la que estamos lanzando las mediciones.
scp -B root@"$boxip1":/tmp/ruta.txt .

#Definimos el array CAMINO con la ruta que siguen los paquetes.
CAMINO=($boxip1_ $(cat ruta.txt))

#Borramos el fichero ruta.txt tanto en la máquina desde la que se lanzan
#las mediciones como en la placa desde la que hicimos traceroute.
rm -f ruta.txt
ssh root@"$boxip1" "rm -f /tmp/ruta.txt"

#Controlamos si ha ocurrido algún error en la obtención de la ruta y
#de ser así informamos con un mensaje de error y escapamos.
NUM_NODOS=${#CAMINO[@]}
if [ $NUM_NODOS -eq 1 ]; then
echo "No se ha podido trazar la ruta. Para mas información mire el fichero ruta.txt"

```



```
exit 5
fi
return
}

#Entramos en cada uno de los nodos del experimento y remontamos
#la escritura de las compact flash para que los cambios tengan efecto.
remontar_escritura()
{
indice1=0
while [[ $indice1 -lt ${#nombres[@]} ]]; do
ssh root@"${nombres[$indice1]}" "/usr/local/sbin/remountrw"
indice1=$(expr $indice1 + 1)
done
}

#Cambiamos el modo de operación en el que estábamos trabajando.
cambiar_mod()
{
indice1=0
#Si el modo al que queremos cambiar es el 4 (explicado anteriormente)
if test $1 -eq 4; then
while [[ $indice1 -lt ${#nombres[@]} ]]; do
#Cuando estemos en los nodos 0 (emisor) y 1 (repetidor1)
case $indice1 in
[0-1])
#A mano cambiamos emisor y repetidor1 a modo 802.11a y
#el primer canal considerado en el array frecuencias.
#Además, indicamos la potencia de transmisión de la tarjeta
#y cargamos la tabla de rutas de los nodos.

linea=$(ssh root@"${nombres[$indice1]}"
"/bin/cat /etc/network/interfaces
| /bin/grep -v ^# | /bin/grep iwpriv")

ssh root@"${nombres[$indice1]}" "/sbin/ifdown ath0 ;
/bin/sed -e \"s/${linea}/pre-up iwpriv ath0 mode 1/g\"
/etc/network/interfaces > /etc/network/interfaces2 ;
/bin/mv /etc/network/interfaces2 /etc/network/interfaces"

linea=$(ssh root@"${nombres[$indice1]}"
"/bin/cat /etc/network/interfaces
| /bin/grep -v ^# | /bin/grep wireless-channel")

```

```

ssh root@"${nombres[$indice1]}" "/bin/sed -e
\s/${linea}/wireless-channel
${frecuencias[0]}/g\" /etc/network/interfaces
> /etc/network/interfaces2 ;
/bin/mv /etc/network/interfaces2 /etc/network/interfaces ;
/sbin/ifup ath0 ; /sbin/iwconfig ath0 txpower 17 ;
/bin/sh /etc/init.d/tabla_rutas"
;;
[2-3])

#A mano cambiamos repetidor2 y receptor a modo 802.11g y
#el primer canal considerado en el array frecuencias2.
#Además, indicamos la potencia de transmisión de la tarjeta
#y cargamos la tabla de rutas de los nodos.

linea=$(ssh root@"${nombres[$indice1]}"
"/bin/cat /etc/network/interfaces
| /bin/grep -v ^# | /bin/grep iwpriv")

ssh root@"${nombres[$indice1]}" "/sbin/ifdown ath0 ;
/bin/sed -e \s/${linea}/pre-up iwpriv ath0 mode 3/g\"
/etc/network/interfaces > /etc/network/interfaces2 ;
/bin/mv /etc/network/interfaces2 /etc/network/interfaces"

linea=$(ssh root@"${nombres[$indice1]}"
"/bin/cat /etc/network/interfaces
| /bin/grep -v ^# | /bin/grep wireless-channel")

ssh root@"${nombres[$indice1]}" "/bin/sed -e
\s/${linea}/wireless-channel
${frecuencias2[0]}/g\"
/etc/network/interfaces > /etc/network/interfaces2 ;
/bin/mv /etc/network/interfaces2 /etc/network/interfaces ;
/sbin/ifup ath0 ; /sbin/iwconfig ath0 txpower 17 ;
/bin/sh /etc/init.d/tabla_rutas"
;;
esac
indice1=$(expr $indice1 + 1)
done
#Tras los cambios realizados configuramos las colas por si
#se han desconfigurado y desactivamos los chipset atheros.
configurar_colas

```

```
desactivar_atheros
else
    #Si al modo al que queremos cambiar es 802.11a u 802.11g, todos
    #los nodos tendrán la misma configuración en todos sus parámetros
    #wireless. También aquí indicamos la potencia de transmisión
    #de la tarjeta y cargamos la tabla de rutas de los nodos.
    while [[ $indice1 -lt ${#nombres[@]} ]]; do
        linea=$(ssh root@"${nombres[$indice1]}"
        "/bin/cat /etc/network/interfaces
        | /bin/grep -v ^# | /bin/grep iwpriv")

        ssh root@"${nombres[$indice1]}" "/sbin/ifdown ath0 ;
        /bin/sed -e \"s/${linea}/pre-up iwpriv ath0 mode ${1}/g\"
        /etc/network/interfaces > /etc/network/interfaces2 ;
        /bin/mv /etc/network/interfaces2 /etc/network/interfaces"

        linea=$(ssh root@"${nombres[$indice1]}"
        "/bin/cat /etc/network/interfaces
        | /bin/grep -v ^# | /bin/grep wireless-channel")

        ssh root@"${nombres[$indice1]}" "/bin/sed -e
        \"s/${linea}/wireless-channel ${2}/g\"
        /etc/network/interfaces > /etc/network/interfaces2 ;
        /bin/mv /etc/network/interfaces2 /etc/network/interfaces ;
        /sbin/ifup ath0 ; /sbin/iwconfig ath0 txpower 17 ;
        /bin/sh /etc/init.d/tabla_rutas"
        indice1=$(expr $indice1 + 1)
    done
    #Tras estos cambios realizados debemos configurar las colas por si
    #se han desconfigurado y desactivamos los chipset atheros.
    configurar_colas
    desactivar_atheros
fi
}

#Recorremos todos los nodos del experimento y desactivamos
#el chipset atheros para que los nodos utilicen WiFi
#estándar y no las funciones adicionales de Atheros.
desactivar_atheros()
{
    indice2=0
    while [[ $indice2 -lt ${#nombres[@]} ]]; do
        ssh root@"${nombres[$indice2]}" "/sbin/iwpriv ath0 ff 0 ;
```

```

/sbin/iwpriv ath0 xr 0 ; /sbin/iwpriv ath0 ar 0 ;
/sbin/iwpriv ath0 burst 0 ; /sbin/iwpriv ath0 compression 0"
indice2=$(expr $indice2 + 1)
done
}

#Función que cambia la frecuencia en la que trabajamos.
cambiar_frecuencia()
{
    #Cambiamos la frecuencia
    echo "Modificando el canal de la placas receptor y repetidor2 a $1"
    ssh root@repetidor2 "/sbin/iwconfig ath0 channel $1 txpower 17"
    ssh root@receptor "/sbin/iwconfig ath0 channel $1 txpower 17"
}

#Como en el driver madwifi no se puede configurar la cola AC_BE,
#configuramos la cola AC_VO tal como quisiéramos que estuviera
#parametrizada la cola AC_BE (valores de WiFi estándar tal como
#el driver madwifi los entiende son: cwmin = 5; cwmax = 10;
#txoplimit = 64; aifs = 2)
configurar_colas()
{
    echo "Estableciendo la configuración de colas requerida
        para la cola AC_VO en cada placa..."
    indice2=0
    while [[ $indice2 -lt ${#nombres[@]} ]]; do
        echo "Configurando colas en ${nombres[$indice2]}"
        ssh root@"${nombres[$indice2]}" "/sbin/iwpriv ath0 cwmin 3 0 5;
        /sbin/iwpriv ath0 cwmin 3 1 5; /sbin/iwpriv ath0 cwmax 3 0 10;
        /sbin/iwpriv ath0 cwmax 3 1 10; /sbin/iwpriv ath0 aifs 3 0 2;
        /sbin/iwpriv ath0 aifs 3 1 2; /sbin/iwpriv ath0 txoplimit 3 0 64;
        /sbin/iwpriv ath0 txoplimit 3 1 64; /sbin/wlanconfig ath0 list wme"
        indice2=$(expr $indice2 + 1)
    done
}

#+-----+
#| Función que ejecuta el script master2.sh de mediciones de forma recur- |#
#| siva, obteniendo las mediciones de todas las combinaciones posibles de |#
#| orígenes y destinos de tráfico. |#
#| Params: |#
#| Si $2 == arranca: $1 --> canal de 802.11 donde se realizará la medición |#
#| $3 --> distancia de la medición |#

```

```
#| Si $2 == número total de nodos: $1 --> nombre del nodo origen de la medición anterior |#
#| $3 --> canal de 802.11 en el que se realizará la medicion |#
#| $4 --> distancia de la medición |#
#| Resto de casos: $1 --> nombre del nodo origen de la medición |#
#| $2 --> nombre del nodo destino de la medición |#
#| $3 --> canal de 802.11 en el que se realizará la medición |#
#+-----+
calcular()
{
if test "$2" = "arranca"; then
calcular 0 1 $1 $3 $4 $5 $6 $7 $8
elif [ $2 == $NUM_NODOS ]; then
calcular $(expr $1 + 1) $(expr $1 + 2) $3 $4 $5 $6 $7 $8
elif [ $2 == $(expr $NUM_NODOS + 1) ]; then
#Terminar la función
return
else
#Si no se cumplen ninguna de las condiciones anteriores,
#primero matamos los ITGManager previos que puedan existir
killall ITGManager
echo "Calculando ${CAMINO[$1]} ${CAMINO[$2]}..."

#Ejecutamos un flujo en cada sentido; es decir, desde emisor a
#receptor y viceversa.
. ${RUTA_DITG_LOGS}/emisor-receptor ${CAMINO_ACCESO[$1]} ${CAMINO[$2]} &
. ${RUTA_DITG_LOGS}/receptor-emisor ${CAMINO_ACCESO[$2]} ${CAMINO[$1]} &
PUERTO=$(expr $PUERTO + 1)
#Esperamos 30 segundos para asegurarnos que los flujos han terminado.
sleep 30
marca=$(date +%s)

#Rotamos los logs para colocar todos los generados por los distintos
#nodos (0,1 y 2) en el mismo fichero de log.
cat "${RUTA_DITG_LANZADOR}/bin/itgemisor_${1}" >>
"${RUTA_DITG_LOGS}/itdg_total_${1}.log"
cat "${RUTA_DITG_LANZADOR}/bin/itgemisor_${2}" >>
"${RUTA_DITG_LOGS}/itdg_total_${1}.log"
echo "" > "${RUTA_DITG_LANZADOR}/bin/itgemisor_${1}"
echo "" > "${RUTA_DITG_LANZADOR}/bin/itgemisor_${2}"
```

```
#Procedemos con el siguiente enlace.
calcular $1 $(expr $2 + 1) $3 $4 $5 $6 $7 $8
fi
return
}

#+-----+
#| Función que lanza en cada nodo de la red troncal |#
#| un emisor y receptor en background preparados  |#
#| para emitir y recibir en cualquier momento     |#
#+-----+
dormir()
{
indice2=0
echo "lanzando ITGSend e ITGRecv en cada una de las placas..."
while [[ $indice2 -lt ${#nombres[@]} ]]; do
ssh root@"${nombres[$indice2]}"
"/bin/sh /home/D-ITG-2.7.0-Beta/bin/emisor" &
ssh root@"${nombres[$indice2]}"
"/bin/sh /home/D-ITG-2.7.0-Beta/bin/receptor" &
sleep 10
echo "${nombres[$indice2]} lanzado"
indice2=$(expr $indice2 + 1)
done
echo "completado lanzamiento en todas las placas"
}

#Función que utilizamos cada vez que queremos matar todos los
#procesos activos de DITG.
matar_DITGs()
{
indice2=0
echo "matando ITGSend e ITGRecv en cada una de las placas..."
while [[ $indice2 -lt ${#nombres[@]} ]]; do
ssh root@"${nombres[$indice2]}"
"/bin/sh ${RUTA_DITG_PLACAS}/bin/matar"
indice2=$(expr $indice2 + 1)
echo "${nombres[$indice2]} realizado"
done
echo "completada aniquilación de D-ITG en todas las placas"
}

#Creamos un lock para que informe de que existe una prueba
```

```
#corriendo en el experimento.
crear_lock()
{
echo "$1" > /tmp/interferencias_${2}
}

#Destruimos el lock una vez que la prueba ha finalizado
#para que pueda llevarse a cabo otra sin ningún problema.
destruir_lock()
{
rm /tmp/interferencias_${2}
}

#Proporcionamos una opción para poder matar los procesos
#de D-ITG que están corriendo en las placas siempre que
#se produzca un error durante una simulación.
case $1 in
-k)
    matar_DITGs
    echo "Adios!"
    exit 5
;;
esac

#Guardamos en una serie de variables todos los parámetros
#que le pasamos a la función ejecutar().
boxip1=$2
boxip1_=$3
boxip2=$4
modos=( $6 $7 $8 )
CORREO=$5

echo "Iniciando mediciones -- $(date)"
#Lanzamos las mediciones
ejecutar "$1" "$boxip1" "$boxip1_" "$boxip2" "$CORREO"

#Tras finalizar las mediciones, matamos todos los procesos
#que pudieran existir de DITG además de todos los ITGManager
#previos. Destruimos los locks para poder realizar nuevas
#pruebas tras la finalizada e informamos del fin de la prueba.
matar_DITGs
killall ITGManager
destruir_lock $CORREO $PID
```

```
echo "Mediciones finalizadas -- $(date)"
```

A.3. Otras funciones

A.3.1. Emisor-Receptor

```
#!/bin/sh
#Lanzamos el ITGManager pasándole la dirección de origen
#como primer parámetro. A continuación le indicamos:
#      -m owdm: la métrica que se utilizará en la
#              medición de un camino del flujo (se
#              requerirá sincronización externa),
#      -a $2: la dirección de destino del flujo,
#      -b 0xb8: marcamos los paquetes para que vayan
#              a la cola AC_VO,
#      -t 20000: Duración en milisegundos (en este
#              caso haremos pruebas de 20 segundos),
#      -T UDP: Protocolo a usar ( en este caso UDP),
#      -U 360 370: Tiempo entre paquetes según una
#              uniforme entre el mínimo (360) y
#              el máximo (tasa mínima por segundo
#              de paquetes que se inyectará),
#      -c 1472: Paquetes por segundo.
/home/makevuy/interferencias/Pruebas_con_DITG/D-ITG-2.7.0-Beta/bin/
ITGManager $1 "-m owdm -a $2 -b 0xb8 -t 20000 -T UDP -U 360 370 -c 1472"
```

A.3.2. Receptor-Emisor

```
#!/bin/sh
#Hacemos lo mismo que en A.3.1
#sólo que esta vez la dirección para lanzar el ITGManager
#es del receptor al emisor.
/home/makevuy/interferencias/Pruebas_con_DITG/D-ITG-2.7.0-Beta/bin/
ITGManager $1 "-m owdm -a $2 -b 0xb8 -t 20000 -T UDP -U 360 370 -c 1472"
```

A.3.3. Emisor

```
#!/bin/sh
#Lanzamos un ITGSend controlado de forma remota y en background en cada
#uno de los nodos del experimento y redirigimos las salidas estándar y
#de error a la salida estándar. Las opciones del ITGSend que hemos
#añadido realizan la siguiente función:
#      -Q: Lanza un ITGSend controlado de forma remota.
#      -X <servidor_logs> <tipo_protocolo>: permite al receptor
```



```
#          configurar remotamente un servidor de logs.
#          -x <fichero_log_receptor>: genera el fichero de logs
#          en receptor con el nombre especificado. En este caso el
#          nombre deseado ha sido itgemisor_1 porque será el fichero
#          de logs del repetidor en el escenario con 3 nodos. En el
#          escenario con 4 nodos el repetidor 1 sería itgemisor_1
#          y el de repetidor 2, itgemisor_2. En ambos escenarios el
#          fichero de logs del emisor se llama itgemisor_0.
#          y si fuese receptor
exec /home/D-ITG-2.7.0-Beta/bin/ITGSend -Q -X 192.168.120.6 UDP -x itgemisor_1 2>&1 &
```

A.3.4. Receptor

```
#!/bin/sh
#Lanzamos un ITGRecv en background y redirigimos las salidas estándar
#y de error a la salida estándar.
exec /home/D-ITG-2.7.0-Beta/bin/ITGRecv 2>&1 &
```

A.3.5. Matar

```
#!/bin/sh
#Esta función sirve para matar todos los procesos del D-ITG en ejecución.
procesos=$(/bin/ps -Ao pid,fname | /bin/grep ITG | /usr/bin/cut -d " " -f 1)
echo "procesos ${procesos[@]} eliminados"
/bin/kill -9 ${procesos[@]}
procesos=$(/bin/ps -Ao pid,fname | /bin/grep ITG | /usr/bin/cut -d " " -f 2)
echo "procesos ${procesos[@]} eliminados"
/bin/kill -9 ${procesos[@]}
```


Apéndice B

D-ITG

B.1. Arquitectura

D-ITG define una arquitectura distribuida multi-componente para la generación de tráfico de Internet de alto rendimiento en un entorno heterogéneo. Los principales componentes de D-ITG son:

- Generador de Tráfico de Internet Emisor (ITGSend)
- Generador de Tráfico de Internet Receptor (ITGRecv)
- Generador de Tráfico de Internet Servidor de Logs (ITGLog)
- Gestor del ITGSend (ITGManager)

La Figura B.1 muestra la relación entre los cuatro bloques principales de D-ITG. ITGSend e ITGRecv coordinan sus actividades implementando el Protocolo de Especificación de Tráfico (TSP) a través de un canal de señalización separado. Además, ambos pueden usar el componente ITGLog para recopilar información sobre la generación usando un canal de Log y un canal de señalización.

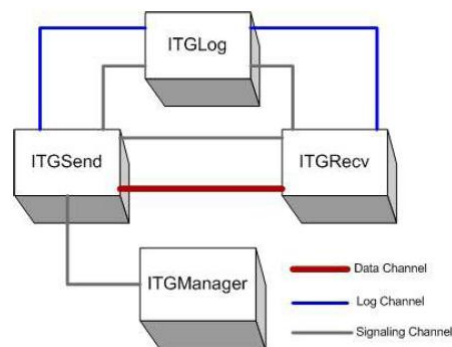


Figura B.1: *Componentes de la Arquitectura D-ITG.*

B.1.1. Protocolo de Especificación de Tráfico: TSP (Traffic Specification Protocol)

El emisor y el receptor deciden los parámetros del experimento y controlan la generación de tráfico usando TSP. Los desarrolladores de D-ITG crean este protocolo para:

1. Crear una conexión entre un emisor y un receptor.
2. Autenticar un receptor.
3. Intercambiar información en un proceso de generación.
4. Cerrar una conexión entre emisor y receptor.
5. Detectar la generación de eventos.

Según este protocolo, la generación de un flujo de tráfico es precedida por la creación de una conexión entre el emisor y el receptor, la autenticación del receptor obtenida a través de un protocolo, el intercambio de información sobre el flujo que se genera y además el emisor deberá comunicar al receptor el final de la generación de un flujo.

B.1.2. Arquitectura del ITGSend

El ITGSend es el emisor del programa de generación de tráfico D-ITG. Puede operar en tres modos diferentes:

- Modo de flujo único (Figura B.2): ITGSend genera un único flujo; un sólo hilo se encarga de la generación del flujo y la gestión del canal de señalización a través del protocolo TSP;
- Modo de múltiples flujos (Figura B.3): ITGSend genera un conjunto de flujos que funciona como una aplicación multihilo. Uno de los hilos implementa el protocolo TSP e impulsa el proceso de generación mientras que los otros generan los flujos simulados;
- Modo demonio (Figura B.4): ITGSend está controlado remotamente por ITGManager utilizando el API de ITG. Este API actualmente proporciona sólo una función, que se puede usar para enviar un mensaje a ITGSend. Este mensaje especifica los parámetros del flujo que se ha de generar (dirección IP de destino y el puerto, caracterización del tiempo entre salida de paquetes, ...).

Cada flujo que se genera con ITGSend es descrito por los procesos: *Tiempo entre salidas* y *Tamaño de paquete*. Ambos procesos están modelados como una serie de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas (i.i.d.). El usuario puede elegir, para estas variables aleatorias, una distribución entre las que D-ITG tiene implementadas : constante, uniforme, normal, cauchy, pareto, exponencial, ... Además, ITGSend permite enviar el tráfico de acuerdo con los modelos teóricos de diversos protocolos como Telnet, DNS, VoIP, ... Esto significa que el usuario puede simplemente elegir uno de los protocolos implementados y la distribución, y los parámetros correspondientes a las variables aleatorias tiempo entre salidas y tamaño de paquete

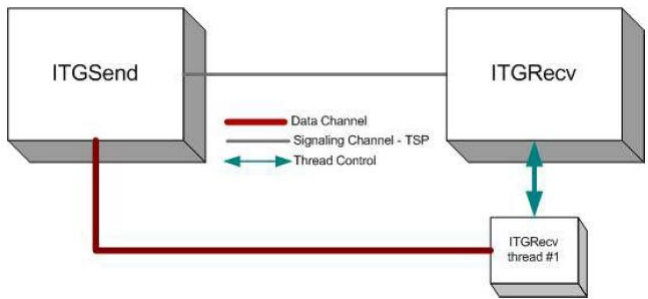


Figura B.2: *Generación en modo flujo único.*

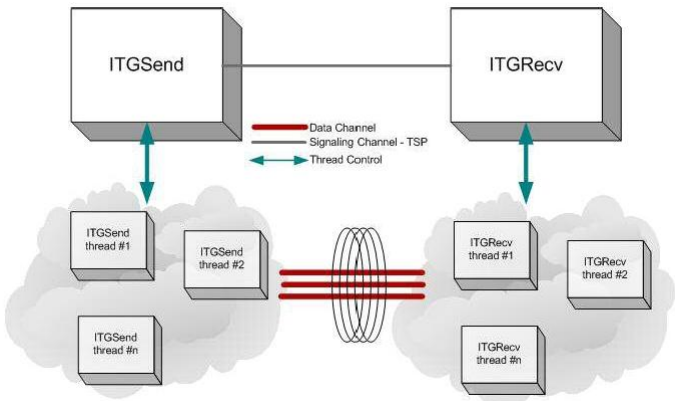


Figura B.3: *Generación en modo flujo múltiple.*

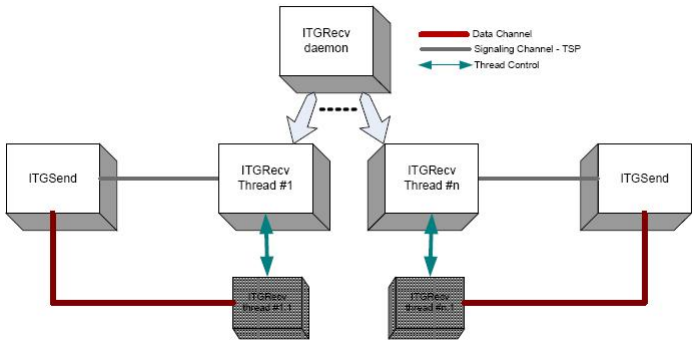


Figura B.4: *Generación en modo demonio.*

son determinados automáticamente por ITGSend. En este sentido, D-ITG realiza una generación “sintética de tráfico realista¹ sobre redes reales”.

Para recopilar estadísticas sobre el proceso de generación, ITGSend puede registrar información detallada sobre los flujos generados:

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| 1. Número de flujo. | 5. Tiempo de transmisión. |
| 2. Número de secuencia. | 6. Tiempo de recepción. |
| 3. Dirección de origen. | 7. Tamaño de paquete. |
| 4. Dirección de destino. | |

Esta información puede ser almacenada, tanto en un archivo de registro local o en uno remoto utilizando el servidor de logs, ITGLog. Este archivo de log es procesado en una etapa posterior con el fin de proporcionar, por ejemplo, el retardo medio (ya sea en un solo sentido o bidireccional) y la tasa de pérdida de paquetes experimentada por los paquetes.

B.1.3. Arquitectura del ITGRecv

ITGRecv siempre funciona como un demonio; es decir, escucha para nuevas conexiones en el puerto 9000 y cuando llega una solicitud de conexión TSP, ITGRecv genera un nuevo hilo que es responsable de la implementación del protocolo TSP, como se muestra en la Figura B.4, y cada uno de los flujos únicos es recibido por un hilo distinto.

De forma similar a ITGSend, ITGRecv genera un archivo de log que describe, a nivel de paquete, cada flujo recibido. Este archivo se puede almacenar local o remotamente utilizando el servidor de log, ITGLog.

B.1.3.1. La autenticación del ITGRecv

D-ITG ha sido diseñado e implementado para simular tráfico de Internet a una alta tasa de bits. Esta característica puede fácilmente utilizarse para implementar ataques como la “Denegación de Servicio” que se produciría si una gran cantidad de emisores pidieran enviar y el nodo que tiene que gestionar estas peticiones se viese saturado. Para limitar este hecho y, en general, para establecer un acuerdo entre el emisor y el receptor, antes de generar un ITGRecv y un ITGSend se debe implementar un protocolo de autenticación Desafío-Respuesta. El uso de éste permite al ITGSend asegurarse de que el receptor realmente quiere recibir tráfico. Así pues, para poner en práctica un ataque DoS usando D-ITG es necesario que el host atacado ya haya estado bajo el control de un intruso (el atacante pudo comenzar un ITGRecv en él).

B.1.4. El canal de señalización

D-ITG implementa el protocolo TSP sobre un canal de señalización TCP, entre el emisor ITGSend y el receptor ITGRecv. Gracias a la implementación de múltiples hilos en ITGSend e ITGRecv cada canal de señalización puede ser utilizado para generar múltiples flujos. En

¹El tráfico realista se define como el tráfico que es estadísticamente similar al tráfico generado en una red real a través de protocolos/aplicaciones reales.

cada generación de flujos múltiples se establece una conexión TSP entre un hilo controlador del ITGRecv y otro del ITGSend.

Este hilo implementa el protocolo TSP y es responsable de instanciar y terminar los hilos que generan y reciben los flujos simulados. La coordinación entre el hilo controlador y los hilos que son delegados para generar o recibir paquetes se realiza mediante comunicación entre procesos (IPC) en los sistemas Unix o a través de un evento de comunicación en Windows.

B.1.5. ITGLog

ITGLog es un servidor de log, que se ejecuta en un equipo diferente a donde lo hacen ITGSend e ITGRecv, que recibe y almacena la información de log de múltiples emisores y receptores. Las actividades de logging se llevan a cabo usando un protocolo de señalización que permite a cada emisor/receptor tener acceso o salir del servidor de log. La información de log puede enviarse usando un canal fiable (TCP) o uno no fiable (UDP).

ITGLog se puede utilizar en diferentes escenarios como pueden ser, por ejemplo:

1. Generación de tráfico distribuida en un área extensa: cuando se utiliza D-ITG en un escenario distribuido de área amplia, ITGLog puede utilizarse para recoger fácilmente toda la información del archivo de log de todos los transmisores/receptores.
2. Dispositivo con recursos de almacenamiento limitados: si un dispositivo con recursos de almacenamiento limitados, como por ejemplo una PDA, se utiliza para enviar o recibir un flujo de tráfico, ITGLog se puede utilizar para recoger la información de log que no se puede almacenar en el mismo.

B.1.6. ITGManager

Tal como describimos anteriormente, ITGSend puede ser lanzado en modo demonio y permanecer inactivo en espera de comandos provenientes de ITGManager. El ITGManager usa el API de D-ITG para controlar de forma remota a ITGSend. Este API está implementada en C++ y, a día de hoy, sólo proporciona una función que permite al ITGManager enviar un mensaje a ITGSend. A través de este mensaje, el ITGManager puede emitir la generación de un flujo de tráfico.

ITGManager puede controlar de forma remota a más de un ITGSend, como se muestra en la Figura B.5. De esta manera, ITGManager puede controlar todo el tráfico que viaja por la red. Esta función puede utilizarse, por ejemplo, para probar algoritmos de encaminamiento centralizado en un entorno real. Es más, podemos asumir la presencia de un “controlador de red”, que recibe solicitudes de flujo y determina la ruta que el flujo correspondiente debe seguir a fin de satisfacer los requerimientos del flujo y optimizar el uso de recursos. Después de que el camino ha sido establecido, ITGManager puede emitir la generación del flujo de tráfico.

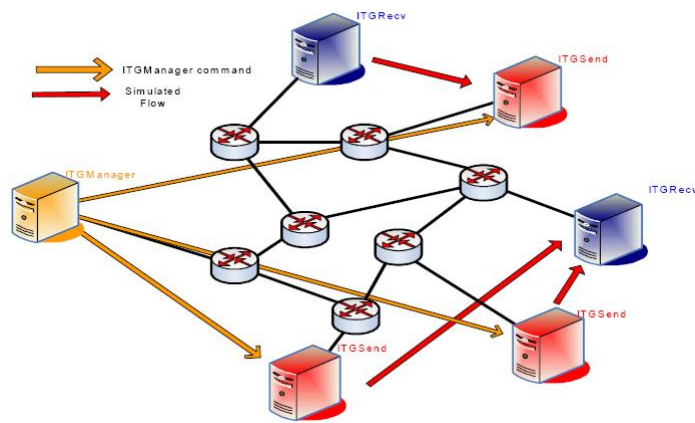


Figura B.5: *ITGSend en modo demonio.*

Apéndice C

Marco de trabajo de proyectos TIC en países en vías de desarrollo

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) estableció en 2006 un marco de trabajo en el que se pone de manifiesto los aspectos clave a la hora de llevar a la práctica proyectos con base TIC y las cuestiones que han de plantearse los responsables de la iniciativa tanto en la fase de diseño como en la de evaluación [Cre08].

	Aspectos clave	Cuestiones
Conectividad	Infraestructura y tecnología (Hw/Sw) accesibles y asequibles	¿Hasta qué punto las infraestructuras y las tecnologías planeadas aseguran a las personas que viven en la pobreza que pueden usarlas y permitírselas?
Contenido	Relevante Accesible Beneficiarios involucrados	¿Hasta qué punto el contenido es relevante respecto a las necesidades de la población objetivo? ¿Pueden las mujeres y los hombres acceder a las TIC y usarlas para abordar sus necesidades? ¿Está disponible en los lenguajes locales y son accesibles por analfabetos o analfabetos en TIC? ¿Participan los beneficiarios de los desarrollos de los contenidos?
Comunidad	¿Quién se beneficia? Participación de los beneficiarios	¿Cuál debería de ser la población objetivo? ¿Cómo participan los diferentes actores en el programa? ¿Están los beneficiarios tomando parte en el diseño y en la implantación del programa? ¿Cómo afectará la intervención de los distintos grupos de la comunidad?
		¿La intervención planeada hace

150 Apéndice C. Marco de trabajo de proyectos TIC en países en vías de desarrollo

	Aspectos clave	Cuestiones
Comercio	Apoyo a los medios y formas de vida	sostenible los medios y formas de vida de los beneficiarios? ¿Hasta qué punto el proyecto apoya las actividades económicas de los beneficiarios?
Capacidad	Capacidad de los beneficiarios Capacidad de las organizaciones	¿Tienen, o pueden adquirir, los beneficiarios la capacidad de participar en el programa? ¿Las organizaciones involucradas tienen la capacidad financiera y organizativa para desarrollar e implementar el programa?
Cultura	Cultura de apoyo Aprendizaje promovido	¿Existe una cultura de apoyo en el uso de las TIC para la reducción de la pobreza? ¿Se promueve un aprendizaje para que exista una cultura en el futuro de apoyo al uso de las TIC?
Cooperación	Cooperación entre actores favorable	¿Hasta qué punto la cooperación entre los actores involucrados es activa y favorable en el uso de las TIC para la reducción de la pobreza?
Capital	Sostenibilidad financiera	¿Existen suficientes fuentes de recursos financieros?
Contexto	Adaptado al contexto Influencias de contexto	¿La política o el programa están adaptados al contexto local? ¿Es posible que la intervención pueda promover cambios necesarios hacia un contexto más favorable del uso de las TIC en el alivio de la pobreza?
Continuidad	Supervisión y evaluación Flexible, fomenta el aprendizaje Potencial para la multiplicidad del impacto Sostenible socialmente	¿El programa incorpora un componente de supervisión evaluación? ¿Promueve el aprendizaje y permite la flexibilidad de adaptación? ¿Puede el programa de TIC ser extendido a otras áreas de desarrollo? ¿Hasta qué punto es socialmente sostenible?
Control	Posesión por parte de los beneficiarios	¿Tienen los beneficiarios posesión de las políticas o de los programas? ¿Tienen voz los beneficiarios en el diseño, implementación

Apéndice C. Marco de trabajo de proyectos TIC en países en vías de desarrollo151

	Aspectos clave	Cuestiones
	Responsabilidad de los actores	y evaluación de los programas y políticas? ¿Tienen todos los actores involucrados responsabilidades?
Coherencia	A favor de los pobres	¿Hasta qué punto el programa de TIC es consistente y coherente respecto a otras políticas e intervenciones a favor de los pobres?

Apéndice D

Formularios de Mantenimiento

A continuación se muestran varios formularios de Mantenimiento que pueden rellenarse cuando se necesite saber la percepción de los usuarios sobre los sistemas instalados, el estado de la red, se quieran recoger las tareas de mantenimiento preventivo realizadas, las averías detectadas en los sistemas EHAS y las tareas de mantenimiento correctivo llevadas a cabo a raíz de la detección.

D.1. Percepción de los usuarios

Establecimientos	Estado de los servicios					Observaciones
	Acceso a Internet	Correo electrónico	Telefonía IP	NetMeeting		
				Vídeo	Audio	
Establecimiento 1						
Establecimiento 2						
Establecimiento 3						
...						

ENCUESTA: (En la última quincena)

1. ¿Cuál es el estado de su acceso a Internet?

Bueno ☐ Regular ☐ Malo ☐ No funciona ☐

En caso de indicarse problemas, ¿Qué problemas presenta? ¿Hace cuánto tiempo?

2. ¿Cuál es el estado de su servicio de correo electrónico?

Bueno ☐ Regular ☐ Malo ☐ No funciona ☐

En caso de indicarse problemas, ¿Qué problemas presenta? ¿Hace cuánto tiempo?

3. ¿Cuál es el estado de su servicio de telefonía?

Bueno ☐ Regular ☐ Malo ☐ No funciona ☐

En caso de indicarse problemas, ¿Qué problemas presenta? (voz entrecortada, voz distorsionada, voz con retardo) ¿Hace cuánto tiempo?

4. ¿Qué calidad observa en la imagen de la aplicación NetMeeting?

Bueno ☐ Regular ☐ Malo ☐ No funciona ☐

En caso de indicarse problemas, ¿Qué problemas presenta? (mala calidad de la imagen, imagen entrecortada, imagen muy lenta) ¿Hace cuánto tiempo?

5. ¿Qué calidad observa en el audio de la aplicación NetMeeting?

Bueno ☐ Regular ☐ Malo ☐ No funciona ☐

En caso de indicarse problemas, ¿Qué problemas presenta? (mala calidad de la imagen, imagen entrecortada, imagen muy lenta) ¿Hace cuánto tiempo?

D.2. Informe del estado de la red

Período

INFORMACIÓN TÉCNICA:

Repetidores	Estado	Caídas	Observaciones
Repetidor 1			
Repetidor 2			
Repetidor 3			
...			

Establecimientos	Estado	Observaciones
Establecimiento 1		
Establecimiento 2		
Establecimiento 3		
...		

Evaluación de estado y actividades.	
--	--

Responsable del informe

D.3. Registro de Actuaciones por Mantenimiento PreventivoCódigo Fecha de Visita Establecimiento Centro de Salud Técnico responsable Asistente *ACTIVIDADES REALIZADAS*

Actividad 1	<input type="text"/>
Actividad 2	<input type="text"/>
Actividad 3	<input type="text"/>

*MEDICIONES*Pozo Pat B. Máster Pozo Pat Pararrayos Voltaje Estabilizador Voltajes del Regulador: Baterías Carga Paneles Revisión de Antena: Antena 1 Observaciones Antena 2 Observaciones *REEMPLAZO DE EQUIPOS O MATERIALES*Componente S/N Evento Fecha ESTADO DEL SISTEMA DE TELEFONÍA: Operativo ☐ No operativo ☐ESTADO DEL SISTEMA DE DATOS: Operativo ☐ No operativo ☐

Observaciones	<input type="text"/>
----------------------	----------------------

Conformidad del responsable del PS <i>(Nombre y firma)</i>	
---	--

D.4. Informe de Averías en Sistemas EHAS

Código correlativo

Establecimiento de Salud

Micro Red

Centro de Salud

Fallo

Receptor

Fecha del informe

Hora

ESTADO DEL SISTEMA DE TELEFONÍA: Operativo ☐ No operativo ☐

ESTADO DEL SISTEMA DE DATOS: Operativo ☐ No operativo ☐

Observaciones	
----------------------	--

D.5. Informe Técnico de Atención de AveríasCódigo Fecha Reporte Establecimiento Centro de Salud Fallo Fecha visita Técnico responsable Asistente *ACTIVIDADES REALIZADAS*

Actividad 1	<input type="text"/>
Actividad 2	<input type="text"/>
Actividad 3	<input type="text"/>

RESULTADOS: Avería corregida ☐ Avería no corregida ☐*ESTADO DEL SISTEMA DE TELEFONÍA:* Operativo ☐ No operativo ☐*ESTADO DEL SISTEMA DE DATOS:* Operativo ☐ No operativo ☐

Observaciones	
----------------------	--

*REEMPLAZO DE EQUIPOS O MATERIALES*Componente S/N Evento Fecha Componente S/N Evento Fecha

Conformidad del responsable del PS <i>(Nombre y firma)</i>	
--	--

Apéndice E

RT: Request Tracker

E.1. Requisitos para la instalación

Se puede ejecutar sobre distintas distribuciones de Unix, Linux, Windows y Mac. Además soporta diferentes sistemas de mantenimiento y gestión de bases de datos como son MySQL, PostgreSQL y Oracle. El lenguaje utilizado para personalizar el sistema es Perl.

Sus funcionalidades están implementadas en Perl, se accede al servidor mediante un navegador Web y genera avisos sobre el estado de los tickets usando el correo electrónico. Para la instalación de RT se requiere instalar previamente:

- Versión reciente de Perl (versión 5.8.3 o superior).
- Sistema de Gestión de Bases de Datos. Los autores de [Vea05] recomiendan utilizar la última versión estable de MySQL ya que es el sistema más fácil para crear y mantener una base de datos.
- Servidor web (cualquier versión de Apache con módulo Perl o cualquier servidor FastCGI). La elección del servidor web dependerá de lo que ya tengamos instalado en nuestro PC.
- Servidor de correo electrónico.
- Módulos Perl. RT utiliza un gran número de las librerías Perl disponibles en CPAN (Comprehensive Perl Archive Network). En la dirección de correo electrónico facilitada anteriormente, Best Practical permite la descarga e instalación de las librerías desde CPAN. Además, dependiendo de la configuración del propio PC, hay una serie de módulos que deben ser instalados manualmente como aquellos que requieren librerías externas.

E.2. Elementos básicos de RT

- Colas: Básicamente una cola es un contenedor de tickets que tienen en común una serie de características a consideración del administrador. Una cola establece el comportamiento por defecto que tienen los tickets que almacena (prioridad, dirección de respuesta, ...), y también permite escalar la prioridad de los tickets que forman parte de ella. Todos los tickets tienen que pertenecer a una (y solamente una) cola. RT dispone de una cola por defecto llamada “General”.

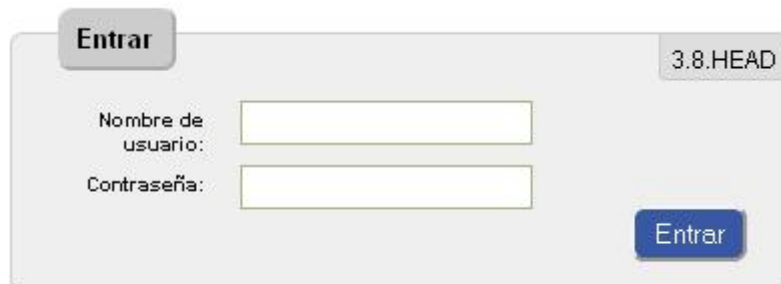


Figura E.1: Acceso a RT.

- Ticket: Representa una incidencia que un usuario registra en el sistema. En el ticket se registra la descripción de la incidencia, la prioridad de la misma, fecha de creación de la incidencia, cola a la que pertenece, estado, ...
- Usuario: Todos los usuarios que utilicen RT deberán tener una cuenta creada en el mismo. En dicha cuenta se le asignarán diferentes privilegios que definirán las posibles acciones que puedan realizar en RT. RT tiene un usuario administrador o superusuario (root) que posee todos los privilegios y es el encargado final de gestionar el correcto funcionamiento de la herramienta. Un usuario puede pertenecer (o no) a uno o más grupos.
- Grupo: Contenedor de usuarios que tienen en común una serie de características a consideración del administrador. En un grupo se definirán los privilegios por defecto que van a tener asignados todos los usuarios que pertenezcan a dicho grupo.
- Scripts: Junto con las plantillas, constituyen la forma más rápida y simple para personalizar el comportamiento de RT. Un script consiste en una condición, una acción y una plantilla que se añaden a las predefinidas en RT. Con los scripts se puede implementar cualquier necesidad que tengamos.

E.3. Modo de uso

En primer lugar, el administrador de RT deberá dar de alta a cada uno de las personas que trabajarán con el sistema de gestión de incidencias a través de un usuario y contraseña. Además les informará de la URL que les permitirá el acceso al mismo.

Una vez introducidos los datos de usuario y contraseña para autenticarnos (Figura E.1), veremos la página principal de RT (Figura E.2) donde podemos ver a simple vista los tickets que tenemos abiertos, los que hemos solucionado, los que pertenecen a las listas a las que tenemos acceso y los que pertenecen a otros usuarios. También podemos buscar tickets que ya existen y crear nuevos a través del campo de entrada de texto que aparece.

E.3.1. Crear tickets

Asociados a un ticket se tienen los siguientes usuarios:

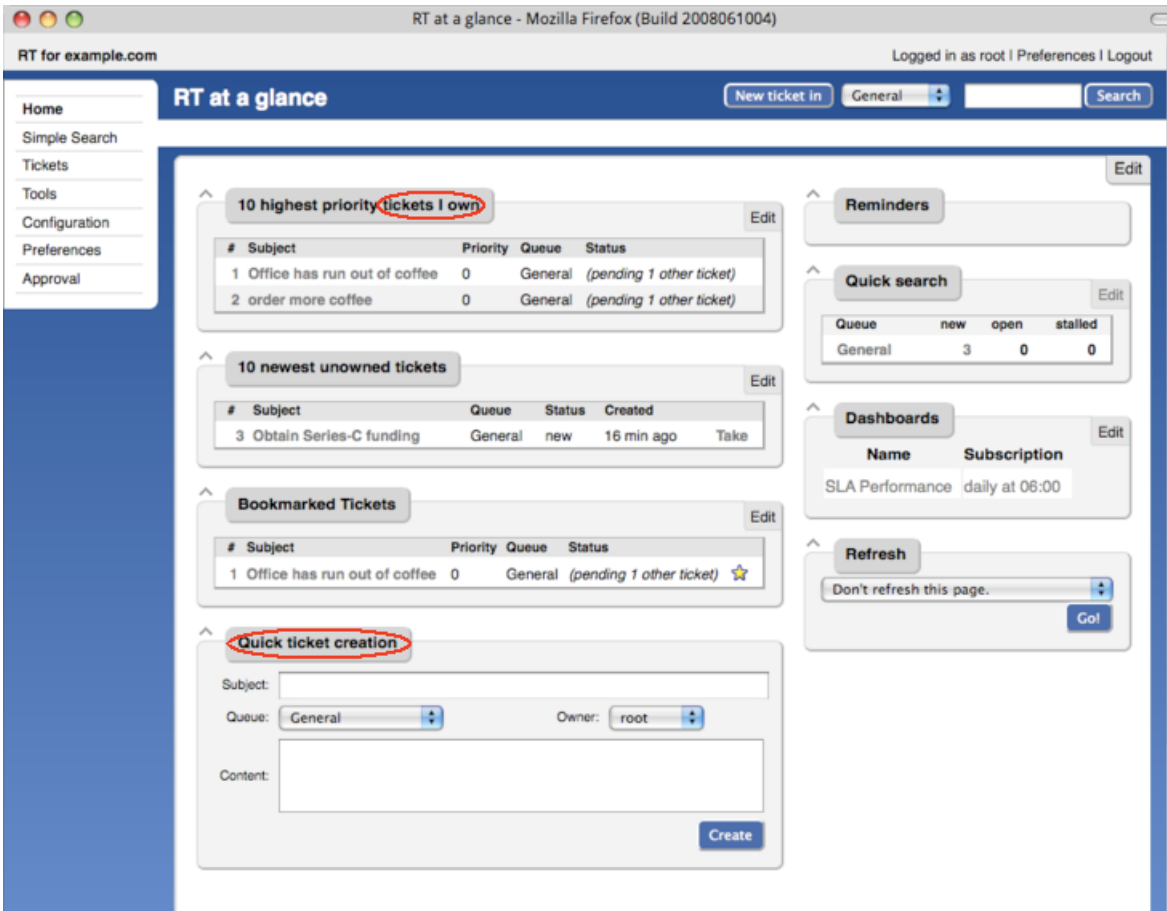


Figura E.2: *Página Principal de Request Tracker.*

- Solicitante: Usuario que detecta la incidencia y crea el ticket asociado. Normalmente se le notifican al solicitante, mediante un correo electrónico, los cambios en el estado del ticket.
- Observador/es (Watchers): Conjunto de usuarios al que se les notificará los cambios en el estado del ticket.
- Propietario: Persona responsable de la resolución de la incidencia. A lo largo de la vida de un ticket éste puede tener diferentes propietarios (como mucho uno cada vez) o no tener ninguno. Un propietario además, es generalmente el encargado de modificar el estado de un ticket a lo largo de la vida del mismo.

La interfaz del formulario para la creación de un ticket (Figura E.3) es realmente sencilla ya que tiene gran similitud con cualquier interfaz Web que gestione el envío de un correo electrónico. Los campos más importantes en este formulario de creación son “Subject” y “Description” ya que es la primera información visible cuando alguien busca un ticket. Por este motivo, como el “Subject” aparece en la página principal debemos asegurarnos de que es claro y conciso. Por lo que respecta a “Description”, es la primera explicación del motivo por el que se creó el ticket, así pues, debemos tener cuidado en introducir toda la información relevante.

El menú de la parte izquierda de la página tiene links a todas las utilidades de RT: buscar tickets, configurar el sistema, cambiar las preferencias, ... Seleccionando cualquiera de estas opciones y, por tanto, desde cualquier funcionalidad de RT, podremos crear un nuevo ticket cliqueando el botón “New Ticket in” que aparece en la parte superior de la página. De esta forma, simplemente seleccionando en el desplegable la cola en la que lo queremos crear, aparecerá una nueva ventana de creación con muchos más campos que la entrada de texto “Quick Ticket Creation” que aparecía en la página principal¹.

Como los tickets se identifican con un número, si RT está configurado para enviar un correo electrónico tras la creación de un ticket (como es por defecto), la persona que lo ha creado recibirá un correo con un breve resumen de sus características; entre las que aparecerá el número que le ha sido asignado y una URL donde se guarda su formulario.

Después de que el ticket es creado, RT puede realizar algunas acciones definidas por el usuario (llamadas scrips). Estos scrips pueden realizar casi todo pero comúnmente se utilizan para enviar correos electrónicos a las componentes del grupo en el que se ha abierto el nuevo ticket.

Una vez que el problema al que hacía referencia un ticket ha sido resuelto, se debe actualizar el estado del mismo ya que RT define diferentes estados a lo largo de la vida de un ticket. Éstos son:

1. Nuevo: Valor por defecto asignado al estado del ticket en el momento de su creación.
2. Abierto: El propietario del ticket deberá ponerle este estado a un ticket cuando haya leído su contenido. De esta manera el usuario solicitante sabrá que su incidencia está siendo atendida.
3. Pendiente: Indica que el ticket aún está a la espera de poder resolverse.

¹ Este acceso rápido crea un ticket sin descripción.

RT for example.com

Create a new ticket

Logged in as root | Preferences | Logout

Home
Simple Search
Tickets
Tools
Configuration
Preferences
Approval

New ticket in General Search

Show basics · Show details

Create a new ticket

Queue: General Status: new Owner: Nobody

Requestors: jesse@bestpractical.com

Cc: (Sends a carbon-copy of this update to a comma-delimited list of email addresses. These people will receive future updates.)

Admin Cc: (Sends a carbon-copy of this update to a comma-delimited list of administrative email addresses. These people will receive future updates.)

Subject: Office has run out of coffee

Operating System: Filterfresh, Linux, Mac OS X, Solaris

Attach file: Attach Files

Describe the issue below:

The worst has happened.
There's no coffee to be found anywhere in the office.
Productivity is at an all-time low!

Create

Figura E.3: Creación de un ticket a través del botón “New Ticket in”.

4. Resuelto: El propietario pone el ticket en este estado para anunciar que la incidencia ha sido resuelta. El solicitante recibirá automáticamente un e-mail notificándoselo. Posteriormente el ticket desaparecerá de la cola en la que estaba siendo almacenado aunque realmente no se borrará de ésta (se podrá acceder al ticket mediante una opción de búsqueda avanzada). Esto se hace así ya que el ticket podría no estar verdaderamente resuelto (con lo cual habría que cambiarle el estado de nuevo) y/o para la generación de históricos y estadísticas.
5. Rechazado: El propietario rechaza el ticket.
6. Borrado: El ticket se borra de la cola. Solo podrán borrar un ticket los usuarios que tengan activado el permiso "DeleteTicket".

Entonces, para cambiar el estado de un ticket se podrá hacer una búsqueda de éste a partir del campo "Search" que aparece en todas las páginas de RT o visualizando la página del Menú Ticket y buscándolo mediante su grado de prioridad, fecha, ... Otra forma de llegar hasta la página donde se muestran los tickets es a través de un enlace directo en el navegador. La URL que muestra un ticket tendrá siempre el formato "*http://<RTSERVER>/Ticket/Display.html?id=<NUMBER>*" donde RTSERVER es la ruta al RT y NUMBER es el identificador del ticket.

Los metadatos asociados a un ticket se pueden dividir en 4 categorías: Lo básico, Fechas, Personas y Enlaces. Cada una de ellas muestra diferentes aspectos del ticket que pueden ser configuradas individualmente seleccionando los aspectos que queremos que se muestren en las Propiedades del Gráfico (Figura E.4). La categoría básica incluye aspectos como la temática, el estado, la prioridad y la cola a la que pertenece el ticket. Además también incluye elementos como el tiempo estimado para completar el trabajo, la cantidad de tiempo que se ha trabajado sobre el ticket, ... La categoría de fechas incluye la fecha de creación, comienzo y finalización del trabajo sobre el ticket. Esta información puede ser apropiada para generar informes sobre el tiempo que se tarda en resolver incidencias. Por otro lado, la categoría de personas muestra los propietarios y las personas que solucionan los problemas. Finalmente, la última categoría contiene todos los enlaces relativos a un ticket; es decir, se pueden enlazar tickets con otros a través de "Merging Duplicate Tickets" y "Associating Related Tickets".

RT registra dos tipos de transacciones: cambios en los atributos y correspondencia. Ésta última y los comentarios son contenidos que se añaden a un ticket y corresponden a todas las respuestas y el feedback de los usuarios. Generalmente, los comentarios tienen carácter privado o interno mientras que la correspondencia suele estar visible por todos los usuarios finales. Un comentario se envía a la dirección de correo del usuario solicitante, a la de los observadores y a la del propietario del ticket. La forma de responder o comentar un ticket es pinchando en el enlace "Reply" o "Comment" ubicado en la parte derecha de la página del Menú "Tickets" (Figura E.4).

En cuanto a la prioridad, ésta es la forma de indicar la importancia relativa asociada a un ticket. La mayoría de las organizaciones utilizan un número del 0 (menor prioridad) al 100 (mayor prioridad). Si no se especifica la prioridad de un ticket, cada cola a la que pertenezca le asignará la que tenga por defecto (si el ticket ya tiene asignada una prioridad, ésta prevalecerá sobre la que hereda de la cola a la que pertenece)². También es posible configurar las colas para que

²Existe un campo de entrada en el formulario de creación de un ticket denominado Prioridad Final que define la prioridad más alta que puede alcanzar un ticket a lo largo de su vida. Al igual que antes, si se especifica una

The screenshot displays the 'Ticket #1 relationships graph' in the Request Tracker (RT) interface. The browser window title is 'Ticket #1 relationships graph - Mozilla Firefox (Build 2008061004)'. The page header shows 'RT for example.com' and 'Logged in as root | Preferences | Logout'. The main navigation bar includes 'New ticket in', 'General', and a search bar. The left sidebar lists various options like Home, Simple Search, Tickets, and Tools. The main content area shows a graph of three tickets: Ticket 1 (Status: new, Subject: Office has run out of coffee), Ticket 2 (Status: new, Subject: order more coffee), and Ticket 3 (Status: new, Subject: Obtain Series-C funding). The 'Comment · Reply' link is circled in red. Below the graph is the 'Legends' section with status filters (deleted, new, open, rejected, resolved, stalled). The 'Graph Properties' section is also circled in red, showing settings for direction (left to right), main type of links (DependsOn), and various checkboxes for properties to display (Basics, People, Dates, Links, CustomFields). The 'Update Graph' button is at the bottom right of the properties section.

Figura E.4: Visualización de la página Ticket.

ajusten automáticamente la prioridad de los tickets durante un tiempo determinado de tal forma que, la prioridad irá aumentando a medida que pasen los días sin que el ticket sea resuelto³.

Para asignar un ticket a una persona deberemos ir al formulario de “Personas”, en la página referente a los Tickets, y seleccionar el usuario de la lista que aparece en el desplegable “Owner”. En esta lista aparecerán todas las personas que tienen permiso para crear tickets en esa cola determinada. Por otro lado, solamente se podrán asignar tickets de los que seamos propietarios o aquellos que no tengan. Si necesitásemos reasignar alguno, del que no somos propietario, podremos “robarlo” y asignarlo a otra persona a través del enlace “Steal” que aparecerá en la parte superior derecha de la página Ticket, junto con “Reply” y “Comment” comentados anteriormente. No todos los usuarios podrán “robar” tickets, sino sólo aquellos que estén autorizados para ello.

Cuando se haya resuelto el ticket de alguna incidencia, se puede cambiar el estado del mismo para que el resto de usuarios sepan que no es necesario realizar ninguna acción adicional al respecto. Para ello, accedemos al enlace “Resolve” que está junto a “Reply” y “Comment”. Este enlace nos permite enviar una respuesta a todas las personas implicadas en el ticket.

En algunas ocasiones, varias personas pueden crear tickets para la misma incidencia. RT da la posibilidad de mezclar múltiples tickets correspondientes a una misma solicitud a través de la opción “Merge”. Lo que haremos será ir al ticket que queremos mezclar con otro y acceder al formulario de enlaces de ese ticket. Este formulario contiene dos secciones principales, “Current Links” y “New Links”. Los enlaces actuales describen las relaciones asignadas al ticket y provee una interfaz de edición simple. La sección de nuevos enlaces nos permitirá definir nuevas relaciones. Entonces, introduciremos en el campo de entrada el número del ticket al que queremos vincular este nuevo ticket y guardaremos los cambios. Una vez que ambos tickets son mezclados, cualquier cambio en alguno de ellos se mostrará en el historial de ambos. Los datos que se mantienen en la fusión son los más restrictivos; es decir, que en el caso de la prioridad prevalecerá el número más alto asignado a ambos tickets.

Por otra parte, un ticket puede representar un problema complejo y podemos desear dividirlo en pequeñas tareas que sean más manejables. Cuando esto ocurre, tiene sentido poder crear nuevos tickets para estas tareas menos complejas y asociarlas al ticket original. RT presenta una relación llamada “Depends On/Depended On By” para realizar estas dependencias. Debemos introducir el número del ticket original en el campo de entrada “Depended On By” en la sección de “New Links” del ticket creado para la tarea. Otra opción es acceder al ticket original e introducir en el campo de entrada “Depends On”, el número del ticket menos complejo. Los campos “Parents” y “Children” tienen similar funcionalidad a “Depends On” y “Depends On By” sólo que se diferencian en que los tickets introducidos en “Parents” no podrán resolverse hasta que sean resueltos los que aparecen en “Children”. Sin embargo, con las otras relaciones establecidas, el ticket original puede ser resuelto con independencia de los otros abiertos para resolver las pequeñas tareas.

Además, algunos tickets pueden no estar relacionados con otros pero sí pueden mencionar a algunos (relación de referencia). Un ejemplo de ello puede ser la apertura de un ticket para

prioridad final a nivel de ticket, ésta prevalecerá sobre la prioridad final que hereda de la cola a la que pertenece.

³Para ello, el administrador configurará este escalado lineal a través de la herramienta `rt-crontool` por línea de comandos. La fórmula de la prioridad se encuentra en el módulo Perl “`EscalatePriorityLinear`” y es totalmente configurable por lo que se podría aplicar un escalonado diferente.

The screenshot displays the Request Tracker search interface. On the left, the 'Add Criteria' section (highlighted with a red circle) contains a list of criteria: id, Subject, Queue, Status, Owner, Requestor Email, Created, Time Worked, Priority, and HasMember. Each criterion has a dropdown menu for the operator (e.g., 'less than', 'matches', 'is') and a text input field. Below the criteria list is an 'Aggregator' section with radio buttons for 'AND' (selected) and 'OR'. To the right of the 'Add Criteria' section are two buttons: 'Add these terms' and 'Add these terms and Search'. On the right side of the interface, the 'Current search' section (highlighted with a red circle) is empty, with navigation buttons (up, down, left, right, And/Or, Delete) below it. Below the 'Current search' section is the 'Saved searches' section (highlighted with a red circle), which includes a 'Privacy' dropdown (set to 'My saved searches'), a 'Description' text field with a 'Save' button, and a 'Load saved search' dropdown (set to 'My saved searches') with a 'Load' button.

Figura E.5: Añadir un criterio en la búsqueda de un ticket.

The screenshot displays the 'Display Columns' section of the Request Tracker search interface (highlighted with a red circle). It contains three main areas: 'Add Columns', 'Format', and 'Show Columns'. The 'Add Columns' section has a list of available columns: id, QueueName, Subject, Status, ExtendedStatus, and UpdateStatus. The 'Format' section has dropdown menus for 'Link', 'Title', 'Size', and 'Style'. The 'Show Columns' section has a list of columns to be displayed: id, Subject, Status, and QueueName. Below the 'Show Columns' list are navigation buttons (up, down, Delete). At the bottom right of the section is a button labeled 'Update format and Search'.

Figura E.6: Elección de la información que queremos que se muestre al realizar la búsqueda de un ticket.

informar de que el correo electrónico va lento. Éste puede hacer referencia a otro ticket en el que alguien informó de que el servidor de correo electrónico se reinició sólo. Aquí es donde entran en juego, las relaciones “Refers to/Referred to By”. Cuando un ticket A tiene una mención (“Refers to”) a otro ticket B, éste último tiene necesariamente una mención (“Referred to By”) al ticket A.

En el caso de tener muchos tickets podemos hacer una búsqueda exhaustiva de alguno de ellos. Para ello, accederemos al enlace “Tickets” del Menú principal de RT. De esta forma visualizaremos el formulario para una búsqueda genérica. En la sección “Add Criteria” (Figura E.5) podemos seleccionar las características del ticket que queremos buscar (cola, estado, prioridad, propietario, ...). Al presionar el botón “Add”, la información seleccionada pasa a la sección “Current Search” ubicada en la parte superior derecha de la misma página. Además, en la sección “Display Columns” (Figura E.6) podemos seleccionar la información que queremos que se muestre al realizar la búsqueda. Por defecto, se muestra mucha información por lo que se puede limitar a través de esta funcionalidad. También podemos establecer el criterio por el que nos mostrará los resultados de la búsqueda, el orden (ascendente o descendente) de la información y el número de tickets que se muestran por página. Después de realizar todos los pasos anteriores, estamos listos para pinchar en el botón “Search” de la misma página.

A veces, es necesario realizar la misma operación sobre un grupo de tickets a la vez; por ejemplo, cuando un empleado deja su puesto y tenemos que reasignar sus tickets a otra persona que se va a encargar de ellos. Para ello, debemos acceder al link denominado “Update multiple tickets” presente en la parte inferior derecha de la página donde se obtienen los resultados de búsqueda de tickets. Todos los cambios que decidamos hacer se aplicarán a todos los tickets que hayamos obtenido como resultado de una búsqueda, por lo que, si no queremos modificar algún ticket debemos quitar la selección de “Update” en el mismo.

Por defecto, RT tiene scripts que envían correos electrónicos cuando algo interesante ocurre. Cuando llega correspondencia a un ticket, se envía por correo electrónico a todas las personas que estén autorizadas a visualizarla. Este comportamiento está controlado a través de un scrip que puede ser deshabilitado o mejorado por el administrador de RT. Respondiendo a este correo, la respuesta se grabará en RT adjuntándose al ticket en cuestión y formando parte de su histórico.

El administrador de correo electrónico puede establecer específicos alias de correo electrónico para crear tickets de tal forma que enviando un correo electrónico con este alias, automáticamente se cree un ticket en RT. Esto puede ser muy útil cuando, por ejemplo, un usuario se encuentre fuera del firewall corporativo y necesite abrir una incidencia.

Si no se quisiese utilizar el interfaz gráfico de RT es posible trabajar con su interfaz de línea de comando (CLI). Para más información consultar [Vea05].

E.4. Tareas Administrativas

Tras la instalación de RT y la “puesta a punto” de la herramienta (creación de colas y grupos, apertura de cuentas y dar acceso a los usuarios de RT, ...), las tareas administrativas pasan a ser fácilmente manejables y no entrañan ninguna dificultad. Estas tareas pueden ser crear nuevos usuarios, modificar los existentes y actualizar el software.

E.4.1. Crear/Actualizar Usuarios

Para crear usuarios o actualizar la información de los mismos, debemos acceder al enlace “Configuration” presente en el Menú principal de RT. Una vez allí, para el primer caso seleccionaremos “New Users” y “Users” si lo que queremos es actualizar información. Aquí podremos buscar a los usuarios a través de su correo electrónico, nombre o identificador.

A la hora de crear un nuevo usuario (Figura E.7), el único atributo que se requiere es “Name”, que será el que utilice RT como usuario para poder acceder a la herramienta. Si se desea que RT envíe correos electrónicos informando de las acciones realizadas por el usuario o que sea informado de acciones llevadas a cabo en tickets a los que éste tiene acceso, debemos complimentar la dirección de correo electrónico y el campo “Real Name”. Además, si los usuarios van a necesitar una contraseña para acceder a RT, también debemos completar el campo “Password”. Por otro lado, al crear un usuario, éste no tiene privilegios a no ser que se los asignemos seleccionando “Let this user be granted rights”. Estos privilegios permitirán a los usuarios acceder a la interfaz web completa en la que puede llevar a cabo acciones de configuración. Por el contrario, si no se tienen privilegios, sólo se accederá a la interfaz propia del usuario.

Además, si se quiere no permitir el acceso a alguna persona a RT debemos no seleccionar “Let

Figura E.7: *Creación/Actualización de usuarios.*

this user access RT”. La herramienta no permite eliminar usuarios ya que esta acción conllevaría a la pérdida de todas las acciones llevadas a cabo por este usuario, y por tanto, de parte del historial; cosa que no pretende RT.

E.4.2. Crear grupos

RT también permite crear grupos para gestionar los privilegios y responsabilidades de un conjunto de usuarios (Figura E.8). Para ello, debemos acceder a la interfaz de gestión de grupos (“Groups”) presente en el link “Configuration” de la página principal de RT. El campo “Name” es lo que primero verán los usuarios por lo que debe ser entendible por todos los miembros durante el transcurso del tiempo. El campo “Description”, por el contrario, es opcional y simplemente aporta mayor información sobre la función del grupo.

Como hemos dicho, podremos asignar privilegios a estos grupos además de configurarlos para que puedan visualizar los tickets pertenecientes a una cola concreta. Utilizando “Saved Search” en la página “Ticket” (Figura E.5) es posible que los grupos compartan las búsquedas guardadas por cada uno de los miembros. Los beneficios aportados por la creación de estos grupos son, en primer lugar, que resulta muy fácil añadir un nuevo usuario a un grupo y, por otro lado, quitarlo del mismo sin necesidad de ir cola por cola buscando si se ha realizado la limitación de acceso a través de la modificación de los privilegios de este usuario.

Como ocurre con el resto de funcionalidades en RT, no podremos eliminar un grupo para no perder el historial. Lo que sí podremos hacer es deshabilitarlo no seleccionando “Enabled”.

Además, accediendo a un grupo concreto, se pueden eliminar usuarios a través de “Members” (Figura E.9). A partir de la versión 3.0 de RT, los grupos son recursivos; es decir, pueden contener

Figura E.8: Creación de grupos.

Figura E.9: Añadir/eliminar miembros de un grupo concreto.

miembros y, además, otros grupos. No hay límite sobre cuántos niveles de grupos pueden contener los mismos.

Si se producen conflictos entre los privilegios asignados a un usuario y los que tiene un grupo al cual éste pertenece, prevalecerán aquellos específicos en su cuenta individual.

E.4.3. Crear Colas

RT tiene un contenedor donde agrupa los tickets: las colas (Queues); es decir, cada vez que se crea un ticket en el sistema tiene que insertarse (clasificarse) en alguna de las colas que están almacenadas en RT, las cuales pueden definir el comportamiento por defecto de los tickets que contienen.

Por tanto, la cola es el dominio central administrativo de esta herramienta. Representa una pila de tickets que están a la espera de que se trabaje sobre ellos pero además informa de la categoría de los mismos. Los permisos se realizan sobre las colas por lo que las acciones que podamos realizar sobre un ticket dependerán de lo que se haya configurado en la cola a la que

Crear una cola Nuevo pedido en Customer Ser Búsqueda...

Elegir - **Crear**

Nombre de la cola:

Descripción:

Subject Tag:

Dirección de Respuesta: (Si se deja vacío, pasará por omisión a rt@no.mail)

Dirección de comentario: (Si se deja vacío, pasará por omisión a rt@no.mail)

La prioridad empieza en:

Pasado el tiempo, la prioridad se mueve a:

Las solicitudes entran en vencimiento en: días.

☒ Habilitado (Desmarcar esta caja, deshabilita esta cola)

Crear

BEST PRACTICAL™

» RT 3.8 HEAD Copyright 1996-2008 Best Practical Solutions, LLC.

Figura E.10: Creación de una cola.

pertenezca.

Generalmente la gestión de las colas se deja a cargo del usuario root (aunque se le pueden dar permisos a otros usuarios para llevar a cabo esta función).

Para crear una cola debemos acceder al link “Configuration”, después a “Queues” y finalmente a “New Queue” (Figura E.10). El campo “Queue Name” es el primer dato visible en la interfaz, además de usarse en correos electrónicos y algunos scrips. Por ello, se aconseja que no contenga apóstrofes, barras oblicuas u otros caracteres que vayan a necesitar ser escapados.

Los campos “Reply Address” y “Comment Address” determinan dónde enviará RT los correos electrónicos de respuesta y comentarios de tickets pertenecientes a esta cola. Además, la herramienta nos permite establecer una prioridad inicial y final a los tickets. La prioridad final sólo es efectiva si usamos el escalado.

Una vez que hemos creado la cola, debemos completar los campos de entrada “Cc” y “AdminCc” presentes en “Configuration/Queues/<Seleccionar una cola>” y a continuación acceder al link “Watchers” del Menú que aparece a la izquierda (Figura E.11). Para añadir miembros a estas listas, podemos buscar por usuarios o grupos. Implícitamente se les aplicarán las limitaciones y derechos propios de la cola. La configuración del acceso a las colas se realiza a través del establecimiento de todas las variables implicadas en el enlace del Menú Principal “Configuration/Queues/Group Rights” (Figura E.12).

E.5. Scrips

El ajuste a medida de las acciones de RT puede realizarse a través de la interfaz de RT o creando módulos Perl para cada una de las especificaciones que queramos. Esta última opción se denomina scrip. Además existirán plantillas a las que los scrip deben estar asociados.

El código de los scrips se escribe con Perl, y puede ser muy útil consultar el API de RT para crearlos a medida, mientras que para la creación de plantillas se usa el módulo “Text::Template”. Los scrips se pueden aplicar a todas o a algunas de las colas que se creen.

Un scrip corre siempre como una transacción. Ésta última representa un conjunto de cambios en un ticket. Por tanto, cuando se resuelve un ticket, su estado cambia y se puede añadir un

Modificar personas relacionadas con la cola Engineering

Nuevo pedido en

Customer Ser

Búsqueda...

Basicos · Observadores · Acciones · Plantillas · Campos Personalizables de Caso · Campos personalizables de Transacción · Derechos del grupo · Privilegios de usuario · Historial

Observadores actuales

Cc

ninguno

(Marque la caja para borrar)

Cc Administrativa

john.foo

(Marque la caja para borrar)

Borrar

Nuevo observador

Encontrar gente que

Id de usuario

contiene

iltr

Encontrar grupos cuyo

Nombre

contiene

iltr

Añadir nuevos observadores:

Usuarios

No hay principales seleccionados

Grupos

No hay principales seleccionados

Si ha actualizado algo más arriba, no olvide Guardar Cambios

BEST PRACTICAL™

>|< RT 3.8.HEAD Copyright 1996-2008 Best Practical Solutions, LLC.

Figura E.11: Campos de entrada Cc y AdminCc de la Cola “Engineering”.

Grupos definidos por el usuario

gr

Permisos actuales

Sin privilegios concedidos

Nuevos privilegios

VerCamposPersonalizados

VerCola

Watch

WatchAsAdminCc

(sin valor)

test

Permisos actuales

Sin privilegios concedidos

Nuevos privilegios

VerCamposPersonalizados

VerCola

Watch

WatchAsAdminCc

(sin valor)

Borrar

Modificar Derechos de Grupo

Figura E.12: Privilegios o permisos asignados a los grupos creados.

Condición	Desencadenante
On Create	Cuando un ticket es creado.
On Transaction	Cuando un ticket es modificado.
On Correspond	Cuando se crea una respuesta para un ticket.
On Comment	Cuando se crea un comentario para un ticket.
On Status Change	Cuando cambia el estado de un ticket.
On Resolve	Cuando un ticket es marcado como resuelto.
On Priority Change	Cuando cambia la prioridad de un ticket.
On Owner Change	Cuando cambia el propietario de un ticket.
On Queue Change	Cuando un ticket se mueve a otra cola.

Tabla E.1: *Condiciones de Scrip.*

comentario o respuesta como parte de la misma transacción. Así pues, el objeto transacción es importante cuando se implementan scrips con condiciones y acciones a medida. El segundo objeto más importante es ticket.

El objeto ticket le representa mientras está siendo modificado. Cualquier cambio forma parte de la transacción llevada a cabo y refleja el estado del objeto ticket. El objeto transacción representa los cambios que se están haciendo sobre el ticket. Por ejemplo, si se cambia el propietario de un ticket, la transacción contendrá tanto el identificador del nuevo propietario como el del viejo.

E.5.1. Condiciones

RT ya tiene una serie de condiciones para scrips. Éstas se pueden consultar en la Tabla E.1. Además de estas condiciones, se pueden crear nuevos scrips con acciones definidas por los usuarios de RT. Esta nueva información, se añadirá a la base de datos de RT por lo que debemos manipularla.

E.5.2. Acciones

Una acción es lo que hace un scrip si la condición es verdadera. RT tiene una serie de acciones por defecto que pueden consultarse en la Tabla E.2.

Al igual que con las condiciones, se pueden escribir acciones a medida. Y además, estas acciones pueden ser definidas tanto a través de un pequeño código Perl introducido en la interfaz web o con un módulo separado. También se deberá informar a RT sobre la adición de este nuevo módulo en la base de datos. Esto puede hacerse a través de un script.

Una acción correrá cuando la provoque una condición; es decir, que la condición es una parte de preparación de la acción.

E.5.3. Plantillas

Cada scrip puede tener asociada una plantilla. Normalmente, ésta genera un correo electrónico pero puede usarse con otros propósitos. Las plantillas permiten generar texto arbitrario basado

Acción	Lo que hace
Autorespuesta a los solicitantes	Enviar un email a los solicitantes de un ticket.
Notificar a los solicitantes, propietarios, etc.	Enviar un correo electrónico a un grupo específico informando sobre los solicitantes, propietarios, ... de un ticket. El correo se genera usando una plantilla asociada al scrip.
Notificar a otros receptores	Permite especificar receptores arbitrarios rellenando la cabecera "To" de la plantilla.
Notificar a los propietarios, CCs, ... sobre comentarios	Cuanto se envía una notificación como comentario, la dirección de respuesta será la que aparezca en la dirección de comentario de la cola a la que pertenezca.
Crear Tickets	Crear uno o más tickets siguiendo la plantilla asociada al scrip.
Abrir Tickets	Abrir un nuevo ticket.

Tabla E.2: *Acciones de Scrip.*

en el contenido de una transacción. Por ejemplo, un scrip con una acción "Create Tickets" usará la salida de su plantilla para generar nuevos tickets.

Las plantillas están escritas usando el lenguaje "Text::Template" que se caracteriza por ser muy simple y permitir incluir código Perl en texto. Este código se coloca entre llaves y todo lo demás es texto plano. RT tiene instaladas las plantillas base mostradas en la Tabla E.3 aunque se pueden construir plantillas a medida.

E.6. Otras funcionalidades

RT dispone de una funcionalidad para sacar gráficas y estadísticas referentes a la resolución de incidencias. Por ejemplo se pueden obtener gráficas que nos muestren cuántos tickets pertenecientes a una cola han sido resueltos por diferentes usuarios en un intervalo de tiempo determinado (Figura E.13).

También, es posible crear diferentes FAQs donde se puedan introducir diversas sugerencias o soluciones a problemas que se podrían resolver muy fácilmente sin el uso de un SGI. Un ejemplo de ello podría ser que si el teléfono no da señal comprobemos en primer lugar si está conectado a la línea. Esto puede ser muy útil para los usuarios con menos experiencia y conocimientos.

Plantilla	Uso
Blanca	Todos los scrips deben tener asociada una plantilla. Se deberá crear esta plantilla cuando no se quiera generar ningún texto.
Autorespuesta	Plantilla por defecto cuando se crea un nuevo ticket.
Transacción	Incluye algún tipo de información sobre el ticket como, por ejemplo, el estado y el asunto.
Correspondencia Admin	Muestra el contenido de un ticket a partir de una URL para ver el ticket.
Correspondencia	Simplemente incluye el contenido de la transacción.
Comentarios Admin	Se usa para enviar comentarios a los administradores.
Cambio de estado	Envía un correo electrónico a los administradores cuando el estado de un ticket cambia.
Resuelto	Envía un correo electrónico a los solicitantes cuando un ticket es resuelto.

Tabla E.3: Plantillas básicas.

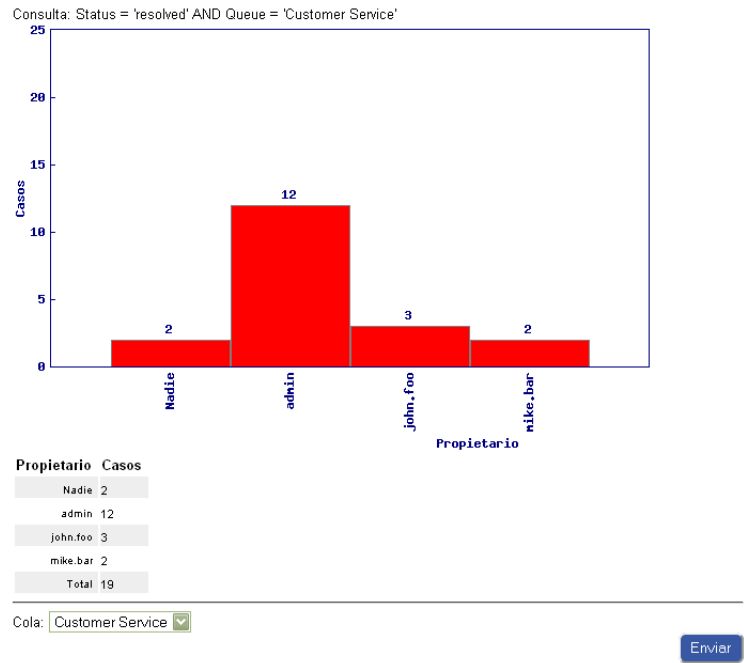


Figura E.13: Informe de tickets resueltos por los usuarios pertenecientes a una cola concreta (Customer Service).

Bibliografía

- [Aea08] G. Araujo et al. *Redes Inalámbricas para zonas rurales*. Programa Willay, 2008. <http://http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/contenido/nueva-publicacion-redes-inalambricas-para-zonas-rurales>.
- [Ast] Página web de los mapas de elevación digital aster. <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>.
- [BN02] S. Batchelor and P. Norrish. Sustainable Information Communication Technologies (ICT): Sustainability, 2002. <http://www.sustainableicts.org/Sustainable.htm>.
- [BSP05] C.G. Brown, K. Sarabandi and L.E. Pierce. Validation of the Shuttle Radar Topography Mission Height Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(8), 2005.
- [Cea06a] K. Chebrolu et al. Long-Distance 802.11b Links: Performance, Measurements and Experience. In *MobiCom*, 2006.
- [Cea06b] C. Cordeiro et al. IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios. *Journal of Communications*, 1(1), 2006.
- [CH08] C.M. Capisto and N.E. Hidalgo. *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX): Evolución, principios de funcionamiento y su aplicación práctica*. PhD thesis, 2008.
- [Cre08] E. Crespo. *Guía para el análisis del Impacto de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en el Desarrollo Humano*. PhD thesis, Universidad Politécnica de Madrid, 2008.
- [DCO] H. Durney, C. Castro and R. Ortiz. Diseño e implementación de radioenlaces y estaciones repetidoras Wi-Fi para conectividad de escuelas rurales en zona sur de Chile.
- [EHA] Página web de la Fundación EHAS. <http://www.ehas.org>.
- [Esc08] A. Escudero. WiFi and WiMAX. 2008.
- [Eva] Diccionario de Acción Humanitaria y Cooperación al Desarrollo. <http://dicc.hegoa.efaber.net/>.

- [Fea07] T. G. Farr et al. The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 45, 2007.
- [Foc] I. Foche. Manual de Linux para Voyage. Documentación interna.
- [For] Formatos de los datos de elevación. <http://www.cplus.org/rmw/dataen.html>.
- [Gar06] P. García. *Diseño de una red de Telecomunicaciones para establecimientos de salud rurales del Perú*. PhD thesis, 2006.
- [GBT] Sitio web del Grupo de Bioingeniería y Telemedicina de la Universidad Politécnica de Madrid. <http://www.gbt.tfo.upm.es>.
- [GdR07] ETSIT Universidad Politécnica de Madrid Grupo de Radiocomunicación. Tutorial de RadioMobile. 2007.
- [Geo] Página web con información acerca de RadioMobile. <http://pe1mew.nl/radiomobile/?Geodata>.
- [Gon] F. M. González-Longatt. Sistemas de Puesta a Tierra y Protección Contra Descargas Atmosféricas.
- [Gra07] A. W. Graham. *Mobile radio network design in the VHF and UHF bands : a practical approach*. John Wiley and Sons, 2007.
- [Hea00] M.C. Hansen et al. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *Remote Sensing*, 21(6 & 7), 2000.
- [HF05] D. Haase and K. Frotscher. Topography data harmonisation and uncertainties applying SRTM, laser scanner and cartographic elevation models. *Advances in Geosciences*, 5:65–73, 2005.
- [HLK82] G.A. Hufford, A.G. Longley and W.A. Kissick. A Guide to the Use of the ITS Irregular Terrain Model in the Area Prediction Mode. 1982.
- [Huf] G. Hufford. The ITS Irregular Terrain Model, version 1.2.2. The Algorithm.
- [Iea] T. Ireland et al. The Impact of Directional Antenna Orientation, Spacing, and Channel Separation on Long-distance Multi-hop 802.11g Networks: A Measurement Study.
- [Ile06] C. Ileje. *An Investigation of ICT Project Management Techniques for Sustainable ICT Projects in Rural Development*. PhD thesis, Rhodes University, 2006.
- [ISF] Sitio web de Ingeniería sin Fronteras. <http://www.isf.es>.
- [Kea04] J. Kellndorfer et al. Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets. *Remote Sensing of Environment*, 93:339–358, 2004.

- [Ken06] K-C. Kenny. *Investigating the Difference of Digital Elevation Models between Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) & Photogrammetry Techniques*. PhD thesis, 2006.
- [Lea] L. Liñán et al. Proyecto de Repotenciación de la Micro-Red de Salud instalada a orillas del río Napo.
- [Lea05] Y. Liu et al. An Experimental Study on Multi-channel Multi-radio Multi-hop Wireless Networks. 2005.
- [Lea07] L. Liñán et al. Informe de repotenciación Red Napo. 2007.
- [Álv09] J.D. Álvarez. Hoja de cálculo para automatizar el cálculo de stocks y el personal de mantenimiento. 2009. Documentación interna.
- [Mar03] A. Martínez. *Evaluación de Impacto del uso de Tecnologías Apropriadas de Comunicación para el personal sanitario rural de países en desarrollo*. PhD thesis, Universidad Politécnica de Madrid, 2003.
- [Mar04] A. Martínez. Comunicaciones para salud en países en desarrollo: ¿lujo o necesidad? 2004.
- [Mik] Página web de productos Mikrotik. <http://www.mikrotik.com>.
- [MM08] P. Martín and J.J. Murillo. Nuevos retos en la utilización del espectro radioeléctrico: tecnologías de radio cognitiva. *Bit*, (171), 2008.
- [Obs02] European Information Technology Observatory. The impact of ICT on Sustainable Development. 2002.
- [Pac06] J.A. Paco. Gestión del mantenimiento. Technical report, Red EHAS-@LIS, 2006.
- [PMS06] C.I. Pade, B. Mallinson and D. Sewry. An Exploration of the Categories Associated with ICT Project Sustainability in Rural Areas of Developing Countries: A Case Study of the Dwesa Project. pages 100–106, 2006.
- [Rea] J. Robinson et al. Experimenting with a Multi-Radio Mesh Networking Testbed.
- [RM] Página web de RadioMobile. <http://pe1mew.nl/radiomobile/?Welcome...>
- [Sea06] M. Simard et al. Mapping Height and Biomass of Mangrove Forests in Everglades National Park with SRTM Elevation Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(3):299–311, 2006.
- [Sea08] S. Surana et al. Beyond Pilots: Keeping Rural Wireless Networks Alive. 2008.
- [Sim07] J. Simó. *Modelado y optimización de IEEE 802.11 para su aplicación en el despliegue de redes extensas en zonas rurales aisladas de países en desarrollo*. PhD thesis, 2007.
- [Sis] Sitio web de comparación de sistemas de gestión de incidencias. http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_issue_tracking_systems.

-
- [SRT] Información sobre “Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)”.
- [Top] Información sobre los mapas SRTM. ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/Documentation/SRTM_Topo.pdf.
- [Ubi] Página web de productos Ubiquiti. <http://ubnt.com/>.
- [VC07] V. Villarroel and M. Camino. Informe de la evaluación final del proyecto EHAS-@LIS. 2007.
- [Vea05] J. Vincent et al. *RT Essentials*. O'Reilly, 2005.
- [wDI] Sitio web de D-ITG. <http://www.grid.unina.it/sotware/ITG>.
- [WiF] Características principales de WiFi. <http://www.ieee802.org/11/>.
- [wik] Wiki de la Fundación EHAS. <http://wiki.ehas.org/>.
- [wLC] Página web para descargarse LandCover. <http://www.geog.umd.edu/landcover/1km-map/download.html>.
- [wRT] Wiki de Request Tracker. <http://wiki.bestpractical.com/>.